




TECHNICAL UNIVERSITY OF KOŠICE  
Faculty of Electrical Engineering and Informatics



# Electrical Engineering and Informatics VIII



Proceedings of  
the Faculty of Electrical Engineering and Informatics  
of the Technical University of Košice

**ISBN 978-80-553-3192-8**

**Electrical Engineering and Informatics VIII**  
**Proceedings of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics**  
**of the Technical University of Košice**

Published by: Faculty of Electrical Engineering and Informatics  
Technical University of Košice  
Letná 9, 04200 Košice, Slovak Republic

Date of publication: September 2017                      Language: English, Slovak  
Printing: 50 pieces CD                                      Pages: 713

Editorial board chairman: prof. Ing. Ján Šaliga, CSc.

Proceedings reviewers: Dr.h.c. prof. Ing. Michal Kolcun, PhD.  
Dr.h.c. prof. RNDr. Ing. Ján Turán, DrSc.  
prof. Ing. Pavol Galajda, PhD.  
prof. Ing. Jozef Juhár, CSc.  
prof. Ing. Dušan Kocur, CSc.  
prof. Ing. Stanislav Marchevský, CSc.  
prof. Ing. Ján Mihalík PhD.  
prof. Ing. Ján Paralič PhD.  
prof. Ing. Daniela Perduková, PhD.  
prof. Ing. Alena Pietriková, CSc.  
prof. Ing. Ján Šaliga, CSc.  
assoc. prof. Ing. Peter Butka PhD.  
assoc. prof. Ing. Ľubomír Doboš, PhD.  
assoc. prof. Ing. Peter Drotár, PhD.  
assoc. prof. Ing. Miloš Drutarovský, PhD.  
assoc. prof. Ing. František Ďurovský, PhD.  
assoc. prof. Ing. Juraj Gazda, PhD.  
assoc. prof. Ing. Ján Papaž, PhD.  
assoc. prof. Ing. Branislav Sobota, PhD.

Editors: prof. Ing. Ján Šaliga, CSc.  
Ing. Emília Pietriková, PhD.

# Contents

<b>Patrik Jelínek, Daniel Mihályi</b> <i>Creating a Web App Designed to Predict the Financial Plan for Team Managers</i> .....	10
<b>Iveta Gladišová, Ján Mihalík</b> <i>Proces rozkladu pyramídy s mriežkou <math>D_{16}</math> a generovania kvantizačných vektorov</i> .....	16
<b>Matúš Rusiňák, Slavomír Šimoňák</b> <i>New Elements of Architecture and Language of x86 family Processors</i> .....	20
<b>Michal Mišev, Slavomír Šimoňák</b> <i>Modernization and extension of visualization VizAlgo platform</i> .....	26
<b>Iveta Gladišová, Ondrej Kováč</b> <i>Medzisúmmková predikcia s pohybovou kompenzáciou s prvkovou presnosťou</i> .....	32
<b>Ondrej Kováč</b> <i>Analýza RTG obrazov spájky pod výkonovým čipom</i> .....	36
<b>Martin Matis, Ľubomír Doboš</b> <i>Protokolovo Závislé Evaluačné Metódy pre Rôzne Modely Pohybov v MANET</i> .....	40
<b>František Babič, Katarína Oravcová</b> <i>Heat Map as Interactive Data Visualisation for Various Information Systems</i> .....	44
<b>František Babič, Stanislava Repková</b> <i>m-Learning s prvkami gamifikácie</i> .....	50
<b>Dominik Nezník, Ľubomír Doboš</b> <i>Analýza kognitívneho rádia vo Wi-fi sieťach</i> .....	56
<b>Tomáš Ivaniga, Ľuboš Ovseník, Ján Turán, Tomáš Huszaník</b> <i>Ovplyvňovanie javu CPM s využitím EDFA v CWDM systéme</i> .....	62
<b>Tomáš Ivaniga, Ľuboš Ovseník, Ján Turán, Tomáš Huszaník</b> <i>Implementácia sietí PON a FTTH vo fyzikálnom modeli TUKE</i> .....	67
<b>Martin Matis, Dominik Nezník, Dávid Hrabčák, Ľubomír Doboš</b> <i>Inteligentné vyhradenie kanálov v CR-MANET na základe snímania spektra</i> .....	72
<b>Dávid Solus, Ľuboš Ovseník, Ján Turán, Miloš Tichý</b> <i>Optický korelátor v systéme identifikácie osôb</i> .....	78
<b>Michal Márton, Ľuboš Ovseník, Ján Turán, Michal Špes</b> <i>Možnosti merania viditeľnosti pre experimentálny FSO/RF hybridný systém</i> .....	83
<b>Dávid Solus, Ľuboš Ovseník, Ján Turán, Katarína Tökölyová</b> <i>Využitie optického korelátoru vo videodohľadovom systéme priemyselných obrazov</i> .....	87
<b>Michal Márton, Ľuboš Ovseník, Ján Turán, Peter Makovický</b> <i>Návrh mikropásikovej antény pre FSO/RF hybridný systém</i> .....	91
<b>Jakub Oravec, Ján Turán, Ľuboš Ovseník</b> <i>Architektúra chaotických šifrovacích algoritmov</i> .....	95

<b>Jakub Oravec, Ján Turán, Luboš Ovseník</b> <i>Použitie Trace transformácie pri rozpoznávaní obrazcov</i> .....	99
<b>Iveta Gladišová</b> <i>Metódy vektorového kvantovania s rozkladom pyramídy</i> .....	102
<b>Luboš Ovseník, Ján Turán, Michal Márton, Peter Popadák</b> <i>Analýza atmosférického prenosového kanála v prostredí OptSim</i> .....	107
<b>Luboš Ovseník, Ján Turán, Michal Márton, Peter Popadák</b> <i>Analýza FSO systémov v prostredí OptSim</i> .....	110
<b>Jozef Biroš, Marián Mach</b> <i>Konvergencia optimalizačného algoritmu inšpirovaného pohybom baktérií</i> .....	115
<b>Ján Turán, Luboš Ovseník, Tomáš Ivaniga, Luboš Kuchár</b> <i>Experimenty s fyzikálnym modelom FTTx optických prenosových sietí</i> .....	120
<b>Ján Turán, Luboš Ovseník, Tomáš Ivaniga, Luboš Kuchár</b> <i>Experimenty s fyzikálnym modelom PON optických prenosových sietí</i> .....	126
<b>František Babič, Kevin Richter</b> <i>Mobilná Aplikácia pre Správu Medicínskych Meraní</i> .....	131
<b>Tomáš Huszaník, Luboš Ovseník, Ján Turán, Tomáš Ivaniga</b> <i>Vplyv javu FWM v DWDM systéme s využitím EDFA</i> .....	137
<b>Michal Špes, Lubomír Beňa, Michal Kosterec, Michal Márton</b> <i>Overenie ochrannej funkcie CBFP nadprúdovej ochrany SPAJ 140C</i> .....	143
<b>Michal Špes, Lubomír Beňa, Michal Kosterec, Michal Márton</b> <i>Impact of ambient conditions to allowable current value of conductor</i> .....	149
<b>Michal Špes, Lubomír Beňa, Michal Kosterec, Michal Márton</b> <i>Štúdia pripojiteľnosti elektrárne do siete VN</i> .....	154
<b>Michal Špes, Lubomír Beňa, Michal Kosterec, Michal Márton</b> <i>Vplyv intenzity slnečného žiarenia na maximálne dovolené prúdové zaťaženie vedení</i> .....	160
<b>Michal Špes, Lubomír Beňa, Michal Kosterec, Michal Márton</b> <i>Možnosti zvyšovania prenosových schopností vonkajších vedení</i> .....	165
<b>Richard Forrai, Zdeněk Havlice, Marián Ďug</b> <i>Information System for the Collection and Processing of Flightlogs</i> .....	171
<b>Dávid Solus, Luboš Ovseník, Ján Turán, Jozef Fabini</b> <i>Model plne optických sietí: Multiplexor/Demultiplexor AddDrop</i> .....	178
<b>Dávid Solus, Luboš Ovseník, Ján Turán, Peter Šulaj</b> <i>Využitie technológie Li-Fi</i> .....	183
<b>Vladimír Gašpar, František Bako</b> <i>On architecture for a smart classroom</i> .....	187
<b>Lucia Kravcová, Marián Mach</b> <i>Vytvorenie modulu pre lokalizáciu objektov pre cloudové prostredie</i> .....	191
<b>Kristýna Kažimírová, Vladimír Gašpar</b> <i>Creating an extension for Google Chrome using content scripts</i> .....	195

<b>Peter Žvanda, Dušan Medved</b> <i>Návrh tienenia indukčného variča voči vplyvu elektromagnetického poľa</i> .....	199
<b>Peter Mikula, Miloš Drutarovský</b> <i>Optimalizácia riadiacej jednotky a uzlov UWB radarovej siete na báze Yocto Linuxu</i> .....	205
<b>František Babič, Andrea Kmecová</b> <i>Prediktívna Analýza Dát o Dopravných Incidentoch</i> .....	211
<b>František Babič, Jaroslav Olejár</b> <i>Diagnostika Srdcovo-cievnych Ochorení Pomocou Dolovania v Dátach</i> .....	217
<b>Jaroslav Foltín, Ondrej Kainz, Miroslav Michalko, Roman Vápeník, František Jakab</b> <i>Solution for Collection of Anthropometric Parameters</i> .....	223
<b>Martin Ploth, Alexander Mészáros</b> <i>Oceňovanie okružných transakcií v cezhraničnom prenose</i> .....	229
<b>Luboš Ovseník, Ján Turán, Jakub Oravec, Peter Dragan</b> <i>Experimenty s autonómnym video-dohľadovým systémom monitorovania narušenia vonkajších priestorov</i> .....	234
<b>Luboš Ovseník, Ján Turán, Jakub Oravec, Peter Dragan</b> <i>Návrh autonómneho video-dohľadového systému monitorovania narušenia vonkajších priestorov</i>	240
<b>Martin Sarnovský, Petra Cibulová</b> <i>Aplikácia pre podporu procesov v prostredí meracieho strediska v automobilovom priemysle</i> .....	246
<b>Martin Sarnovský, Pavol Halás</b> <i>Porovnanie knižníc strojového učenia pre platformy analýzy veľkých dát</i> .....	250
<b>Martin Sarnovský, Tomáš Porvazník</b> <i>Dolovanie v dátach v úlohe predikcie správania sa používateľov služby AirBnB</i> .....	255
<b>Martin Sarnovský, Peter Rončík</b> <i>Modelovanie a simulácia procesov na Service Desku</i> .....	259
<b>Martin Sarnovský, Juraj Surma</b> <i>Využitie analýzy dát v oblasti podpory procesov riadenie IT</i> .....	263
<b>Luboš Suchý, Želmíra Ferková</b> <i>Porovnanie radiacich metód pre pohon so spínaným reluktančným motorom</i> .....	267
<b>Pavol Fedor, Daniela Perduková</b> <i>Nízkoenergetický statický zdroj pre elektrosystémy</i> .....	271
<b>Linus Michaeli, Martin Čižmár, Ján Šaliga</b> <i>Štúdiá vlastností PIR senzorov pre aplikáciu v AAL systémoch</i> .....	275
<b>Stanislav Ondáš, Rastislav Husovský</b> <i>Evaluácia multimodálneho dialógového systému s robotom NAO</i> .....	281
<b>Miroslava Muchová, Ján Paralič, Lenka Tkáčová</b> <i>Analýza vybraného procesu logistickej firmy metódami dolovania v dátach</i> .....	287
<b>Miroslava Muchová, Ján Paralič, Barbora Nagyová</b> <i>Analýza dát z logistickej firmy s využitím nástrojov Business Intelligence</i> .....	291

<b>Ján Papaj, Alexandra Hornyáková</b> <i>Návrh algoritmu výberu voľného spektra s využitím teórie hier pre kognitívne MANET</i> .....	296
<b>Vladimír Gašpar, Filip Faško</b> <i>Case study for storm alerts in a smarthome environment</i> .....	302
<b>Martin Hasin, Miloš Drutarovský</b> <i>Optimalizácia YOCTO Linuxu pre vstavané aplikácie na tvorbu sieťového prekladu paketov</i> ....	306
<b>Dávid Čonka, Peter Vizslay, Jozef Juhár</b> <i>Detektor rečovej aktivity založený na hlbokoj neurónovej sieti</i> .....	311
<b>Martin Konečný, Marián Mach</b> <i>Paralelné využitie viacerých evolučných algoritmov pre hľadanie riešenia</i> .....	315
<b>William Steingartner, Alexander Prevužňák, Mohamed Ali M. Eldojali</b> <i>Information system for grammar school</i> .....	319
<b>Peter Šoltýs, Miloš Drutarovský</b> <i>Komunikačné rozhranie UWB radarovej senzorovej siete</i> .....	326
<b>Zuzana Vantová, Ján Paralič</b> <i>Prehľad metód analýzy dát zameraných na kardiovaskulárne ochorenia</i> .....	331
<b>Miroslav Hančar, Imrich Andráš, Ján Šaliga</b> <i>Systém monitorovania priemyselných riadiacich systémov</i> .....	337
<b>Žaneta Kochaníková, William Steingartner, Mohamed Ali M. Eldojali</b> <i>A code generator for an abstract implementation of imperative language</i> .....	342
<b>Dorota Belanová, Marián Mach</b> <i>Path planning using heuristic graph search algorithms</i> .....	348
<b>Gabriel Drab, Marek Pavlík</b> <i>Návrh nezávislého napájania verejného osvetlenia</i> .....	353
<b>Matúš Tóth, Tomáš Koctúr, Ján Staš</b> <i>Rozpoznávanie základných emócií človeka pomocou EEG signálov</i> .....	359
<b>Dávid Hrabčák, Martin Matis, Ľubomír Doboš, Ján Papaj</b> <i>Evaluačná metóda určená na evaluáciu sociálnych väzieb v modeloch pohybu pre MANET siete</i>	365
<b>Maroš Zelený, Zdeněk Havlice</b> <i>Generating of Web Applications on the Basis of ASP.NET MVC</i> .....	372
<b>Veronika Petrušková, Zdeněk Havlice</b> <i>Prototyping of Software with Using of Executable Models</i> .....	379
<b>Ľudmila Maceková, Juraj Novák</b> <i>Krátky opis videoštandardu H.265</i> .....	386
<b>Laura Rohalová, Peter Butka</b> <i>Creation and visualization of conceptual models based on FCA in R</i> .....	392
<b>Veronika Novotná, Peter Butka</b> <i>Interaktívna vizualizácia výsledkov vyhľadávania pomocou formálnej konceptovej analýzy</i> .....	398
<b>Yuliia Myshun, Peter Butka</b> <i>Návrh a implementácia balíka v R pre podporu riešenia vybraných úloh z oblasti rozvrhovania</i> ..	404

<b>Natália Kuzmová, Peter Butka</b> <i>Návrh a implementácia balíka v R pre podporu riešenia vybraných úloh z oblasti logistiky</i> .....	410
<b>Martin Gajdoščík, Peter Butka</b> <i>Web aplikácia pre podporu vizualizácie a objavovania znalostí vo vybranej množine dát z oblasti športu</i>	416
<b>Vladimír Gáll, Alexander Mészáros</b> <i>Výpočet nákladov na prenos elektriny</i> .....	422
<b>Alexander Mészáros, Ján Zbojovský, Marek Majerský</b> <i>Elektrické a magnetické polia v elektroenergetike</i> .....	428
<b>Ján Drozd, Ondrej Kainz, Miroslav Michalko, Roman Vápeník, František Jakab</b> <i>Extracting the Skeletal Model of the Human Body from Static Image</i> .....	433
<b>Marek Ilko, Ondrej Kainz, Aleš Deák, Peter Fecilák, František Jakab</b> <i>Extracting the Dimensional Data using ArUco Markers</i> .....	438
<b>Peter Strnisko, Luboš Ovseník, Ján Turán</b> <i>Hybrid FSO/RF Communication System and Puncturing Technique</i> .....	443
<b>Peter Strnisko, Luboš Ovseník, Ján Turán</b> <i>BER Performance of IM/DD FSO System and APD Receiver</i> .....	446
<b>Roman Vápeník, Simona Čisárová, František Jakab</b> <i>Video-Based Monitoring Of Vital Signs</i> .....	449
<b>Matej Bednár, Stanislav Ilenin</b> <i>Návrh elektrickej inštalácie rodinného domu využitím programu Eplan</i> .....	455
<b>Matúš Soták, Stanislav Ilenin</b> <i>Ochrana pred účinkami blesku pomocou aktívneho bleskozvodu podľa STN 34 1398</i> .....	459
<b>Samuel Kravec, Stanislav Ilenin</b> <i>Využitie programu easy soft pre elektroinštalčné aplikácie</i> .....	463
<b>Ladislav Nyulászi, Peter Butka, Dominika Fedorová</b> <i>Aplikácia pre experimentálnu identifikáciu systému v prostredí MATLAB/Simulink</i> .....	468
<b>Júlia Červeňáková, Miroslav Michalko</b> <i>QoS simulation for IP telephony</i> .....	474
<b>Roman Palitefka, Lubomír Doboš, Ján Papaj</b> <i>Implementácia protokolu PProPHET v prostredí OPNET</i> .....	480
<b>Vladimír Gašpar, Milan Urban</b> <i>Module for organizing state examinations</i> .....	486
<b>Peter Girovský, Patrik Oklamčák</b> <i>Simulácia robotického pracoviska v programe ABB RobotStudio</i> .....	491
<b>Branislav Sobota, Štefan Korečko, Ladislav Jacho, Peter Pastornický</b> <i>The application of symbolic-text interface for handicapped persons education</i> .....	495
<b>Michaela Bačíková, Jaroslav Pulik</b> <i>Social Networks for Mentoring in Higher Education</i> .....	500

<b>Roman Vápeník, Aleš Deák, Juraj Bonk, František Jakab</b> <i>Optimalizácia aplikácie pre ovládanie inteligentnej domácnosti na platforme Android</i> .....	506
<b>Pavol Cabúk, Juraj Ďurišin</b> <i>Influence of high current density on microstructure and resistance of solder joints</i> .....	512
<b>Slavomír Kardoš, Ján Olejár</b> <i>MEMS IMU senzorové pole pre snímanie dynamiky pohybu</i> .....	516
<b>Michaela Bačíková, Dávid Matejkov</b> <i>Remote Usability Testing in the Liferay Portal Environment</i> .....	521
<b>Erik Hric, Štefan Korečko, Branislav Sobota, João Saraiva, Ladislav Jacho, Peter Pastornický</b> <i>WeeR: an Application for Utilization of Mobile Phone as Virtual Reality Interface</i> .....	527
<b>Peter Bednár, Henrieta Studničková</b> <i>Cloud Services for Intelligent Customer Relationship Management</i> .....	532
<b>Peter Vizslay, Slavomír Gereg, Jozef Greššák, Jozef Juhár</b> <i>Dereverberácia rečového signálu založená na párovaní časovo a spektrálne dekorelovaných príznakov</i> 537	
<b>Juraj Erdelyi, Pavol Dolinský, Linus Michaeli</b> <i>Demonštračný elektromyograf</i> .....	543
<b>Peter Bednár, Kamila Pracelová</b> <i>Návrh sociálnej platformy pre prezentovanie kultúrneho dedičstva</i> .....	547
<b>Ladislav Jacho, Štefan Korečko, Dominik Trojčák, Peter Vasil</b> <i>Používateľské rozhranie CAVE systému na báze elektroencefalogramu</i> .....	553
<b>Michal Vadovský, Ján Paralič, Tomáš Kudrík</b> <i>Klasifikácia pacientov trpiacich Parkinsonovou chorobou pomocou metód dolovania v dátach</i> ...	557
<b>Michal Vadovský, Ján Paralič, Peter Kulbaga</b> <i>Metódy dolovania v dátach pre včasnú diagnostiku Parkinsonovej choroby</i> .....	563
<b>Alexander Mészáros, Peter Kurimský</b> <i>Šírenie vysokofrekvenčných elektromagnetických polí cez vybrané stavebné materiály</i> .....	569
<b>Marianna Rosinová, Martin Lojka, Ján Staš, Jozef Juhár</b> <i>Rozpoznávanie hlasových povelov pomocou EEG signálov</i> .....	576
<b>Peter Pastornický, Branislav Sobota, Štefan Korečko, Ladislav Jacho, Marián Hudák</b> <i>Interaction techniques in CAVE LIRKIS</i> .....	582
<b>Peter Talian, Daniela Perduková</b> <i>Verifikácia vlastností stabilnej regulačnej štruktúry na HIL pracovisku</i> .....	586
<b>Marek Mihok, Ján Genči</b> <i>Určenie globálneho sentimentu populácie na základe sociálnej siete Facebook</i> .....	592
<b>Iveta Gladišová, Ján Mihalík</b> <i>Level Set metóda segmentácie obrazov</i> .....	598



<b>František Rakoci, Luboš Ovseník, Ján Turán</b> <i>Návrh automatického inventarizačného systému dopravných značiek s využitím optického korelátora</i>	603
<b>Michal Prepilka, Vladimír Hajduk, Dušan Levický</b> <i>Obrazová steganografia na báze výberu krycieho obrazu</i>	609
<b>Rastislav Jurč, Pavol Dolinský, Linus Michaeli</b> <i>Meracie pracovisko pre záznam a spracovanie EKG signálov s možnosťou vzdialeného prístupu</i>	613
<b>Marián Vitališ, Imrich Andráš, Ján Šaliga</b> <i>Demonštračné pracovisko pre protokol Modbus</i>	619
<b>Michaela Tarhaničová, Tomáš Cádrik, Marián Mach</b> <i>Creation of AI bricks from existing AI algorithms</i>	624
<b>Matej Kurinec, Roman Vápeník, Peter Fecilák</b> <i>Implementing selected DLMS protocol objects for Antik eMeter product</i>	628
<b>Peter Dzivák, Pavol Dolinský, Linus Michaeli</b> <i>Experimentálny pulzoximeter</i>	634
<b>Patrik Figura, Zdeněk Havlice</b> <i>Design, Prototyping and Implementation of Information System with Knowledge Layer</i>	638
<b>Martin Pečovský, Stanislav Slovák, Pavol Galajda</b> <i>Budič krátkeho dipólu radaru na vyhľadávanie objektov pod zemou na báze M-postupnosti</i>	643
<b>Dominik Gdovin, Dušan Medveď</b> <i>Analýza rozloženia elektromagnetického poľa v okolí domácich spotrebičov</i>	648
<b>Stanislav Slovák, Martin Pečovský, Pavol Galajda</b> <i>Koncept aktívneho smerového prvku</i>	654
<b>Ján Magyar, Ján Genči</b> <i>Visualization of textual data</i>	659
<b>Milan Biroš, František Ďurovský</b> <i>Vývoj prototypu modulárneho výkonového meniča</i>	671
<b>Marián Klešč, Dušan Medveď</b> <i>Analýza off-grid siete s obnoviteľnými zdrojmi</i>	675
<b>Martin Vojtek, Michal Kolcun</b> <i>Design and simulation of autonomous photovoltaic system with accumulation for family house</i>	681
<b>Martin Vojtek, Michal Kolcun</b> <i>Porovnanie presnosti ideálneho a všeobecného matematického modelu fotovoltického modulu v prostredí Matlab/Simulink</i>	687
<b>Pavol Kolesár, Branislav Madoš</b> <i>Algorithm Design for Compression of Genomic Code</i>	693
<b>Viktor Findorák, Branislav Madoš</b> <i>Using FPGA for computationally demanding applications</i>	699

<b>Milan Leškanič, Branislav Madoš</b> <i>Volume data conversion and storage in Volumetric Picture Format</i> .....	706
<b>Author's Index</b> .....	712

# Creating a Web App Designed to Predict the Financial Plan for Team Managers

<sup>1</sup>*Patrik JELÍNEK*, <sup>2</sup>*Daniel MIHÁLYI*

<sup>1,2</sup> Department of Computers and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>patrik.jelinek@tuke.sk, <sup>2</sup>daniel.mihalyi@tuke.sk

**Abstract** – This final work is about creating a team finance management system and collecting data in a corporate corporation. From these data are subsequently calculated values that constitute the financial forecast for the following periods and which facilitate the overview of the company's finances. It includes the implementation of web application by using symfony 2 framework.

**Keywords** – Symfony 2, web application, financial forecast

## I. INTRODUCTION

This web application was developed for easy financial administration of teams in corporate firm and also for making financial forecasts and optimal employe data collecting. The previous version of financial forecast was in the form of an excel file in which the cells contained the formulas that were in charge of calculating this forecast. This was one of the reasons for the creation of this work and its main purpose, namely to build an application that would provide the same excel file functionality and expanding it. Recording of these financial data into the excel file has several drawbacks. The principal one of these shortcomings was security. This file was internally shared on the network, and only users with the same level of access could access it, but they could also view data from other departments too. Another of the few problems was that users who added data to the Excel spreadsheet could unintentionally or deliberately alter the formulas that were important for the calculations. These problems have led to the creation of this work, which creates a web application from this excel file and adds much more functionality. This issue, the fact that this work had to be implemented in the software framework of Symphony 2 [1], [2], [3], [4] and the fact that, after completing it with a contribution to a better functioning corporate corporation, we was motivated to choose and work on this topic. This implementation includes modern web technologies based on HTML5 [5] and CSS [6], [7], [8], together with scripting language PHP [9], [10] and database backend Mysql [11].

## II. APPLICATION FUNCTIONALITY

This app contains the functionality that we have divided into three use case diagrams, depending on what specific part of the thesis is focused on. The first thing depicted to Fig. 1, implement was a system for logging in to the system. Since this system contains sensitive data, this section needs to be given sufficient attention. At the same time, sign-in includes implementation of the user's sign out. In addition to user's signing in/out, there is also functionality in the case of a password maintenance that is an inherent part of such a system.

Another of the cornerstones of this application (Fig. 2) was to create an environment that will allow employees and applications to be added to the system. For each of these objects, it is also necessary to store data that is for the employee:

- name and surname;
- e-mail address;
- type of employee who distinguishes whether the employee is internal or external;
- value that stores how much time an employee works;
- note to the employee and
- date when the employee came to work.

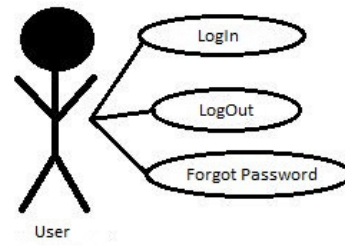


Fig. 1 First use case diagram (log in/log out/password maintenance).

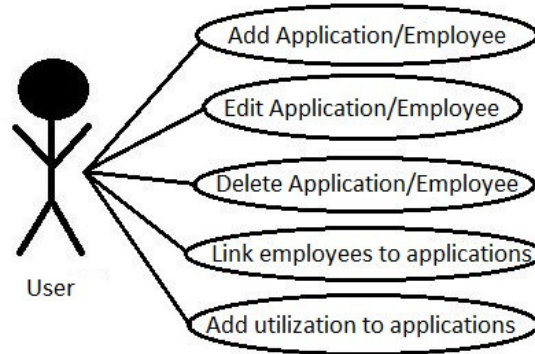


Fig. 2 Second use case diagram. (application/employee maintenance)

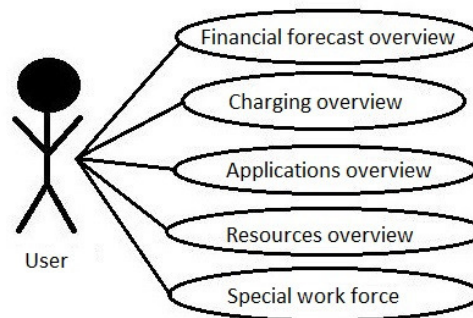


Fig. 3 Third use case diagram. (overview)

For the application, these are the following:

- application category;
- application name;
- value that stores how many and what employees work on the application;
- the amount that records the cost of working on this app;
- a note about a particular application and
- date indicating the start of the application.

After creating apps and employees working for a particular team, it was necessary to create an environment that allows employees to be assigned to applications and applications to employees. In addition to assignment, there is also the ability to record the value of the 100 percent employee on the application, since it can work on multiple applications. Another important element that has been implemented is the editing environment for both users and applications. The last point was to create a button to delete both types of projects. The implementation of the deletion button closes the add-on functionality, so we can go to the last use case diagram that generates the financial forecast, the money flow, and other data according to the data input for creating applications and employees. The following chart shows the financial forecasting functionality.

The last case (Fig. 3) of use cases shows us the functionality that needed to be implemented in the core of this thesis. This financial forecast is divided into five sectors, each of which deals with a different part of the money flow. Each of these predictions has two common features with others:

- will be displayed in the form of tables and
- each of these predictions must be able to be recorded for any year and month.

#### A. Financial Forecast Overview

The overview of the financial flow is carried out in this part of the thesis by a table containing ten columns and twelve lines. Each of these rows represents one month of the year, and the year we want to browse is available in the drop-down list. Each of these ten columns contains values for certain expenses that make up the financial flow. These columns are:

- Charging FTE;
- FTE on Board;
- Headcount;
- Use;
- TravelCost (CO);
- TravelCost (CoCe);
- TrainingCost (CO);
- TrainingCost (CoCe);
- EWC (CO) and
- EWC (CoCe).

This table, called the financial forecast, contains summaries for the entire team of employees and for all the apps that are currently working. The first column, named Charging FTE, must contain values that record the amount that must be paid in the given month so that applications can work. This amount includes all of the team's applications.

The Charging FTE column is followed by the FTE on Board column. FTE on Board stores the sum of FTE of all staff working in a team where the value of FTE of each employee gets a value from zero to one, by type of employment.

The Headcount entry contains the actual number of people physically present in the team. So, if there are ten people in the team and five people work half the time, the value of Headcount will be 10 for the given month and the value of their total FTE 7.5, as half - FTE 0.5. This column also lists the value of Headcount for the whole team.

The fourth column in the financial flow table is the Utilization column. This column has to be calculated by multiplying the value of Charging FTE and FTE on Board multiplied by 100 percent, giving us the percentage of employee use in the team.

The second half of this cash flow table consists of three categories, namely training costs, travel expenses, and external labor costs. Each of these categories is further divided into CO expense, which means Customer Order, i.e. customer order and CoCe, which means Cost center, therefore, company expenses. These data are a breakdown of the budget for a given period. Training expenses include, for example, various training sessions, or an academy for employees that the company organizes. Travel costs show amounts that include, for example, travel expenses. External labor costs record employee costs, which must be employed from other departments for larger projects.

#### B. Charging overview

Another part of this financial forecast consists of a section called Charging, that is, billing. This part of the table must contain fourteen columns. The first column in this section will be the name of the app to which the billing applies. The following column must indicate the value of the application that you need to pay per application per hour. The following columns must indicate changes in this value in the given month and year, and must also display information about changing this value. The last rows in this table will contain app summaries with the same billing value.

#### C. Service overview

Just like the previous subsection, the overview of services is a table. This table must show the cost of each app on which it operates in that month. This table will consist of both of the thirteen columns, of which twelve represents the months of the year, and the first column contains a list of all the applications in the team. Each row will then represent the specific amounts for which the app was working in the given year. The last line in this billing summary will be the summation of the cost of all applications for that month.

#### D. Resource Overview

For a report with the source name, the same implementation principles will apply in this work as for the service overview. This resource table will also consist of thirteen columns, of which twelve will represent the individual months of the year, and the first column of the list of employees. This table must indicate the employee's FTE values each month since he was employed. For example, if the employee worked half-time in January, his value for the January text in the table would be 0.5. If his employment has been changed since February to full-time, the value in the table will already be 1. The last row, as in previous cases, will display the summary of each month.

#### E. Special Work Force Overview

This subsection does not need a detailed description because it will be the same as the resource overview table. This section will have only one difference, which is that it will contain only the staff that they will get when creating an external employee's flag.

### III. DATA IMPORT FUNCTIONALITY

Another functionality that extends this work is data import. Since this final work was a replacement for the `xlsx` file, it is essential to import data from this file into an application to make it easier to work and eliminate unnecessary tasks, such as time-consuming employee or app data. Although the application offers the ability to import data, the functionality of adding and editing the application and its employees is important because the team leader for whom this data is imported does not have access to the `xlsx` file from which the import is made. This part of the data import will be automated and will be performed every time a user enters the system. After signing in, you must review the existing employees on the system, and then import employees who are not already in the application. One of the reasons for creating this app was to divide the visibility of data by teams. This criterion is very important when implementing a part called data import. The `xlsx` file from which the import is made consists of ten columns, which are:

- `PN` - employee's personal number;
- `Name of employee` - name and surname of the employee;
- `Coce` - the number of the spending center on which the employee is registered;
- `Type of contract` - employee type of employment;
- `FTE` - the value of the FTE employee;
- `HC` - the value of the Headcount employee;
- `SL` - serviceline - the top department in the corporate hierarchy;
- `Unit` - type of department within serviceline;
- `Department` - the type of partition within Unit;
- `Team` - name of the team working in the department and
- `Start date` - Date of the employee's arrival at the company.

When importing employees from this file I do not use all the data because it is not necessary. Key data are: `Name of employee`, `Coce`, `Type of contract` and `Start date`. We implemented it in two steps.

The first step was to create a function named `processAction ()`, which contains two input variables, which are: `coce` and `user`. The variable `user` transfers the feature of the currently logged on user to the system, the team leader. The `coce` variable transfers the value of the `coce` value of the logged-on user. These two variables ensure the assignment of the employees whose `coce` of the `xlsx` file is the same as the value of the input variable `coce` to the user input object of that function. Since importing data from a file whose type is `xlsx` is too complex, the first part of the code is devoted to converting the `xlsx` file to a `.csv` file, that is, comma separated file. This conversion will create a file that is easier to analyze and process, because the data is written in rows and the end of the line is indicated by a non-pressed line end character. Conversion is followed by comparing the `coce` value and choosing the appropriate rows in which the value of this variable matches. After choosing the right rows, that is, the employees, follows the disassembly of each of these rows, selecting the right information and storing them in the database. The name of the employee is dissected using the `explode ()` function. Because the name and surname are located in one cell of the `xlsx` file after the conversions, they will not be separated by a comma, so this separation needs to be done separately. The `explode` function provides this separation of the name and surname to two separate character strings from which you can continue to work.

The second step in implementing this import was to create the `emailValidator ()` function. This function has one input variable, which is the employee's e-mail address created from

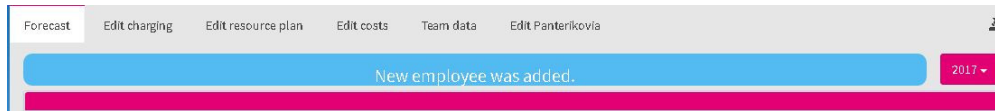


Fig. 4 Adding new employee flash.

the name and surname from the `xlsx` file. The `emailValidator ()` compares the address it receives as a parameter from all the e-mail addresses that are already in the database. If this function detects a match, its return value is `false`. If the match does not match the return value is `true`. This function is used in the `processAction ()` function and decides whether to write or unsubscribe the employee to the database, so this function is responsible for removing duplicates. The last step was to create flash message as described in the previous chapter. This message is displayed if a new employee has been added (Fig. 4) between the employees after the import.

Similarly to employees and applications, it was necessary to implement features that secure the import of data from the `xlsx` file into the application. This section consists of three functions that provide automated data import. Since the data that you need to paste into the application is in the `xlsx` file whose shape may change, unlike the file from which I load the employees, the first function must recognize the indexes of the columns that contain the correct data. This function could not be implemented if the `xlsx` file format changed completely, but since the column names remain unchanged, only their number or order can be changed based on this information. The first step was to create the `indexFinder ()` function. This feature, as I mentioned earlier, was for the task to find the indexes of all the columns that are needed to retrieve the data from the file. `IndexFinder ()` searches the first line of the `xlsx` file and compares each column with the character strings specified in the application. If it finds a match, it stores the index of the column where the match matches, in the variable. These variables are then called and used in functions similar to the `emailValidator ()` function. This feature has the name `nameValidator ()`, and its role is to verify whether or not the imported application is already in the system. This feature prevents duplicate uploading of data. After successfully completing the `indexFinder ()` and `nameValidator ()` functions, the program goes to add applications to the system and, like adding staff, it follows flash message.

#### IV. CONCLUSION

In this work, we worked on creating a modern web application that provides a clear and simple application administration environment and staff in a corporate corporation manager team. In addition to these actions, it also provides some form of financial forecast. For comparison with applications that are currently available on the market, we chose five that have some similarities. These applications were: Pulse, Up Your Cash Flow, CashWiz, Tagetik, and Budget Maestro. Although these applications provide similar functionality, they have not been able to use the form of calculations that is used in this final work. For these reasons, we have created an application that provides the exact tools that were required for the proper functioning of this system and the financial forecast calculations. Several of these apps allow you to export app data to different formats, but none of these apps provided data import. One of the requirements for this final work was also importing data that we managed to solve and automate. This web application makes it easy for a team manager to work on a large scale, so we believe it is beneficial. In the future, we would like to mention the few possible extensions that we have encountered in analyzing this assignment but have surpassed the scope of this final work. The first extension we suggest is building instructions for using this app, which will be in the form of videos and will be implemented directly into it. These videos could show the exact procedures and instructions for each part of this software. At the same time, these instructions could be a spoken word that would explain the issues of the actions displayed on the video. Another extension that we suggest is an interactive form of presentation of these data. So we suggest creating some form of graphical representation of data in this application that would be easy to work with and would provide a variety of functionality. Since this app serves to monitor the financial flow of teams in a corporate corporation, it is often these leaders who are forced to present data from this application. Therefore, we propose to further extend the implementation of the data export functionality to `xlsx`, or to propose a solution that would allow the export of this data directly into the pre-prepared form of the powerpoint file.

#### ACKNOWLEDGMENT

Web application was developed in cooperation with T-Systems Slovakia Ltd. in order to simplify and better organize the work of the leaders. To choose this topic, we was led by the reason that this work develops our skills, which we will use with certainty in the future, and we are delighted that this product, in its final form, will contribute to a better functioning corporate corporation.

#### REFERENCES

- [1] W. Bancer, *Symfony2 Essentials*. Packt Publishing, 2015.
- [2] M. Noback, *A Year with Symfony: Writing Healthy, Reusable Symfony2 Code*. Matthias Noback, 2013.
- [3] F. Potencier, *Practical Symfony 1.3 & 1.4 for Doctrine*. Sensio Labs Books, 2009.
- [4] F. Zaninotto and F. Potencier, *The Definitive Guide to symfony*. Apress, 2007.
- [5] J. Keith, *HTML5 for Web Designers*, ser. A Book Apart : brief books for people who make websites. A Book Apart, 2010.
- [6] A. Budd and E. Björklund, *CSS Mastery*. Apress, 2016.
- [7] J. Duckett, *HTML and CSS: Design and Build Websites*, 1st ed. A Book Apart, 2014.
- [8] E. Meyer, *CSS: The Definitive Guide*. O'Reilly Media, Incorporated, 2007.
- [9] P. D. Group, "PHP Reference Manual," ©2001-2017 The PHP Group, 2017.
- [10] R. Lerdorf, "Announce: Personal Home Page Tools," 1995.
- [11] D. Axmark and M. Widenius, "MySQL 5.7 Reference Manual," ©2017, Oracle Corporation and/or its affiliates, 2017.



# Proces rozkladu pyramídy s mriežkou $D_{16}$ a generovania kvantizačných vektorov

Iveta GLADIŠOVÁ, Ján MIHALÍK

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

iveta.gladisova@tuke.sk, jan.mihalik@tuke.sk

**Abstrakt** — Článok sa zaoberá vektorovým kvantizátorom s rozkladom pyramídy pre šesťnásťrozmerný (16-R) priestor. Vektorový kvantizátor s rozkladom pyramídy je kvantizátor, ktorého kvantizačné vektory ležiace na povrchu pyramídy sú vektory, ktoré vznikli ako prienik pyramídy s určitým polomerom (rádiusom) s vektormi celočíselnej mriežky  $D_{16}$ . Takýto kvantizátor využíva pri vyhľadávaní kvantizačných vektorov myšlienku rozkladu 16-R pyramídy, čím dochádza aj k rozkladu mriežky. V závere článku sú uvedené dosiahnuté počty kvantizačných vektorov, počty globálnych skeletov, ako aj počet modifikácií vektorov globálnych skeletov mriežky a to pre rôzne prenosové rýchlosti vektorového kvantizátora s rozkladom pyramídy.

**Kľúčová slová** — mriežka vektorov, rozklad pyramídy, tvorba 16-R kvantizačných vektorov

## I. ÚVOD

Vektorový kvantizátor s rozkladom pyramídy (VKRP) patrí do skupiny pyramídových vektorových kvantizátorov [1], [2]. Sú to suboptimálne vektorové kvantizátory charakteristické geometrickou štruktúrou kvantizačných vektorov, vhodné najmä pre postupnosti vzoriek s Laplaceovým rozdelením pravdepodobnosti [3]. Kvantizačné vektory tvoria body (vektory) celočíselnej mriežky typu  $D$  [4 - 6] ležiace na povrchu mnohorozmerných pyramíd  $S(v, K)$ , ktorých definíciu nájdeme v [1], [3] ( $v$  je rozmer mriežky a  $K$  je polomer pyramídy). V článku sa najprv budeme zaoberať rozkladom pyramídy s mriežkou  $D_{16}$  a generovaním vektorov mriežky na tejto pyramíde, ktoré sú potrebné napr. pri konštrukcii optimálnej Barnes-Wallovej mriežky pre ten istý rozmer [7]. Zistíme, aké sú počty 16-R kvantizačných vektorov na takýchto pyramídach, a tým aj aké sú prenosové rýchlosti VKRP, ďalej tiež počty globálnych skeletov. Popíšeme proces generovania 16-R vektorov v danom globálnom skelete. Ukážeme všetky modifikácie vektorov globálneho skeletu pre konkrétnu pyramídu  $S(16, 2)$  a uvedieme aj počty modifikácií vektorov globálnych skeletov mriežky.

## II. PRINCÍP ROZKLADU PYRAMÍDY S MRIEŽKOU $D_{16}$

Mriežka  $D_{16}$  je reprezentovaná množinou 16-R vektorov s celočíselnými zložkami, ktorých súčet zložiek je párne číslo [8], [3] t.j.

$$D_{16} = \{ \bar{b} = (b_1, b_2, \dots, b_{16}) ; \sum_{i=1}^{16} b_i = \text{párne číslo} \}. \quad (1)$$

Z toho vyplýva, že polomer pyramídy  $K$ , na povrchu ktorej ležia vektory mriežky  $D_{16}$ , musí byť tiež párne číslo. Kódovú knihu (code book) kvantizátora tvoria všetky vektory danej mriežky ležiace na povrchu pyramídy, označenej ako  $S(16, K)$  [1], [3], [5].

Každý 16-R kvantizačný vektor  $(b_1, b_2, \dots, b_{16})$  sa dá rozložiť na osem 2-R subvektorov  $(b_1, b_2)$ ,  $(b_3, b_4)$ , ...,  $(b_{15}, b_{16})$ . Tieto subvektory môžeme chápať ako 2-R body ležiace na ôsmich 2-R pyramídach s polomerami

$$K_j = |b_i| + |b_{i+1}|, \quad (2)$$

kde  $j = 1, 2, \dots, 8$ ,  $i = 1, 3, 5, \dots, 15$ . Je zrejmé, že súčet polomerov týchto 2-R pyramíd je rovný polomeru  $K$  zo 16-R pyramídy  $S(16, K)$ .

Usporiadáním polomerov  $K_j$  do 8-R vektora získame tzv. vektor globálneho skeletu

$$[K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, K_8] \quad (3)$$

*Globálny skelet* (GS) reprezentuje časť kódovej knihy, ktorá obsahuje určitý počet kvantizačných vektorov. Celá kódová kniha sa dá rozložiť na konečný počet globálnych skeletov a GS pozostáva z konečného počtu subskeletov.

*Subskelet* je tak časťou GS a je reprezentovaný vektorom subskeletu, ktorého zložky zodpovedajú vzorom pyramíd v tzv. banke vzorov pyramíd.

*Banka vzorov pyramíd* je skupina 2-R pyramíd daného polomeru s určenými bodmi, ktoré sa podieľajú na tvorbe kvantizačných vektorov.

Potrebné je zostaviť časť alebo celú kódovú knihu na základe znalosti vektorov globálnych skeletov, subskeletov a banky vzorov pyramíd. Pre mriežku  $D_{16}$  každý globálny skelet obsahuje iba jeden subskelet, pričom banku vzorov pyramíd tvoria 2-R pyramídy, na povrchu ktorých sú všetky body s celočíselnými zložkami. Pre počet bodov  $N_K$  na 2-R pyramíde platí

$$N_K = \begin{cases} 4K & \text{ak } K \neq 0 \\ 1 & \text{ak } K = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Tabuľka 1 prezentuje uvedené počty 16-R kvantizačných vektorov v globálnom skelete spolu s možnými kombináciami vektorov.

Tab.1 Vektory globálnych skeletov spolu s počtom 16-R kvantizačných vektorov pre každý globálny skelet

Vektory globálnych skeletov	Počet 16-R kvantizačných vektorov v globálnom skelete
[4 0 0 0 0 0 0 0]	128
[0 0 0 0 0 0 1 3]	384
[0 0 0 0 0 0 2 2]	256
[0 0 0 0 0 1 0 3]	768
[0 0 0 0 0 1 1 2]	2048
[0 0 0 0 0 2 0 2]	512
[0 0 0 0 0 2 1 1]	1024
[0 0 0 0 1 1 1 1]	512
[0 0 0 1 0 0 0 3]	1536
[0 0 0 1 0 0 1 2]	4096
[0 0 0 1 0 1 0 2]	8192
[0 0 0 1 0 1 1 1]	8192
[0 0 0 2 0 0 0 2]	1024
[0 0 0 2 0 0 1 1]	2048
[0 0 0 2 0 1 0 1]	4096
[0 0 1 1 0 0 1 1]	1024
[0 0 1 1 0 1 0 1]	4096
[0 1 0 1 0 1 0 1]	4096
<b>Spolu</b>	<b>44 032</b>

### III. GENEROVANIE KVANTIZAČNÝCH VEKTOROV MRIEŽKY $D_{16}$ NA PYRAMÍDE $S(16, K)$

Proces generovania 16-R vektorov v danom globálnom skelete je znázornený na Obr.1a). Z každej dvojice polomerov pyramíd získame skupinu 4-R vektorov. V ďalšom kroku zoskupujeme tieto 4-R vektory do dvoch skupín 8-R vektorov a výsledné 16-R kvantizačné vektory získame zoskupením týchto dvoch skupín 8-R vektorov. Je dôležité poznamenať, že zoskupovanie musí prebiehať len spôsobom vyznačeným na Obr.1a).

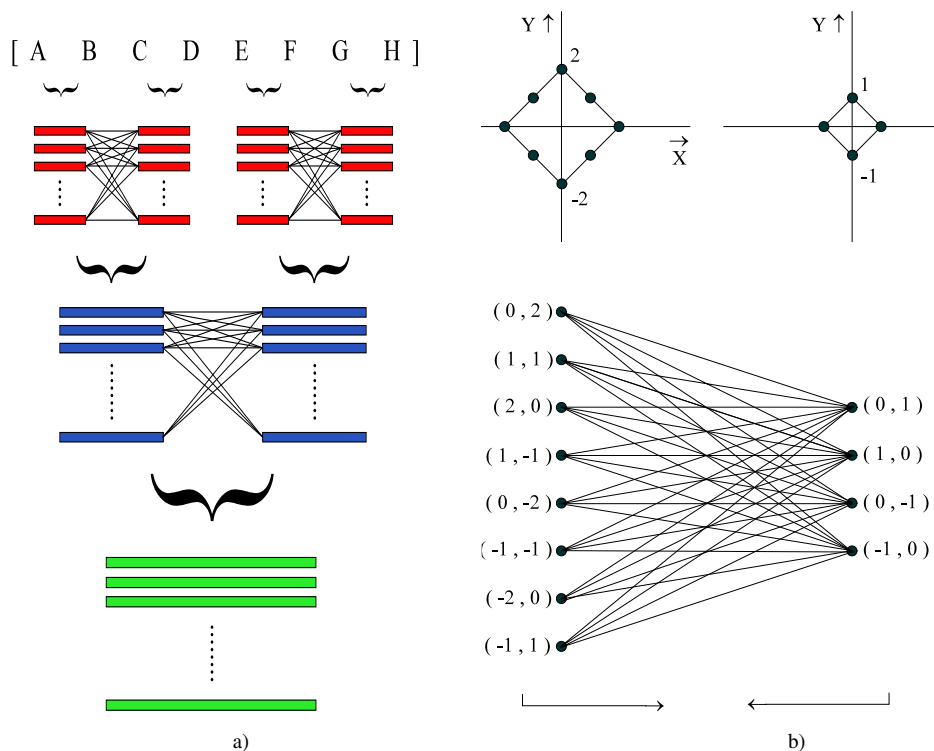
Na Obr.1b) je uvedený príklad tvorby skupiny 4-R vektorov pre dvojicu polomerov pyramíd  $K=2$  a  $K=1$ . Týmto polomerom zodpovedajú vzory pyramíd na Obr.1b) hore. Na Obr.1b) uprostred je znázornený diagram pre tvorbu týchto 4-R vektorov. Diagram pozostáva z jednotlivých bodov pyramíd reprezentovaných 2-R súradnicami a čiar, reprezentujúcich spôsob zoskupovania. Generovanie potom prebieha tak, že sa zoskupia všetky body z jednej pyramídy so všetkými bodmi druhej pyramídy, pričom sa postupuje v smere zľava doprava. V prípade, že polomery pyramíd sú rôzne, postupuje sa aj v smere sprava doľava. Z tohto postupu vyplýva, že vo vektore globálneho skeletu môžeme zameniť poradie polomerov v jednotlivých dvojiciach

$$\begin{matrix} [ A & B & C & D & E & F & G & H ] \\ \cup & & \cup & & \cup & & \cup & \end{matrix}$$

Takto získame ďalšie modifikácie vektora globálneho skeletu. Počet 4-R vektorov z dvojice pyramíd s polormi A a B sa určí podľa vzťahu

$$N_{4-R}(A, B) = 2N(A)N(B), \text{ ak } A \neq 0, B \neq 0, \quad (5)$$

$$N_{4-R}(A, B) = N(A)N(B), \text{ ak } A = B. \quad (6)$$



Obr. 1 a) Princíp generovania 16-R vektorov v globálnom skelete; b) príklad tvorby 4-R vektorov.

V tabuľke 2 sú uvedené všetky 4-R vektory pre prípad z Obr.1.

Tab. 2 Zoznam všetkých 4-R vektorov pre prípad z Obr.1

0,2,0,1	1,1,0,1	2,0,0,1	1,-1,0,1	0,-2,0,1	-1,-1,0,1	-2,0,0,1	-1,1,0,1
0,2,1,0	1,1,1,0	2,0,1,0	1,-1,1,0	0,-2,1,0	-1,-1,1,0	-2,0,1,0	-1,1,1,0
0,2,0,-1	1,1,0,-1	2,0,0,-1	1,-1,0,-1	0,-2,0,-1	-1,-1,0,-1	-2,0,0,-1	-1,1,0,-1
0,2,-1,0	1,1,-1,0	2,0,-1,0	1,-1,-1,0	0,-2,-1,0	-1,-1,-1,0	-2,0,-1,0	-1,1,-1,0
0,1,0,2	0,1,1,1	0,1,2,0	0,1,1,-1	0,1,0,-2	0,1,-1,-1	0,1,-2,0	0,1,-1,1
1,0,0,2	1,0,1,1	1,0,2,0	1,0,1,-1	1,0,0,-2	1,0,-1,-1	1,0,-2,0	1,0,-1,1
0,-1,0,2	0,-1,1,1	0,-1,2,0	0,-1,1,-1	0,-1,0,-2	0,-1,-1,-1	0,-1,-2,0	0,-1,-1,1
-1,0,0,2	-1,0,1,1	-1,0,2,0	-1,0,1,-1	-1,0,0,-2	-1,0,-1,-1	-1,0,-2,0	-1,0,-1,1

Generovanie 8-R vektorov prebieha tak , že sa zoskupia všetky 4-R vektory jednej pyramídy so všetkými 4-R vektormi druhej pyramídy. Poradie skupín 4-R vektorov je možné zameniť. Získame tak ďalšie modifikácie vektora globálneho skeletu:

$$[ \underbrace{A \ B \ C \ D}_{\text{Group 1}} \ \underbrace{E \ F \ G \ H}_{\text{Group 2}} ]$$

Počet 8-R vektorov, pochádzajúcich zo štvorice pyramíd s polormi  $K = A, B, C, D$  sa dá určiť podľa vzťahu

$$N_{8-R}(A, B, C, D) = 2N_{4-R}(A, B)N_{4-R}(C, D), \quad (7)$$

ak dvojica pyramíd  $[A, B]$  poskytuje inú množinu 4-R vektorov ako dvojica  $[C, D]$ , potom

$$N_{8-R}(A, B, C, D) = N_{4-R}(A, B)N_{4-R}(C, D), \text{ v opačnom prípade.} \quad (8)$$

Analogickým spôsobom, akým sme získali 8-R vektory, sa dajú vytvoriť aj výsledné 16-R kvantizačné vektory. V tomto prípade sa zoskupujú dve skupiny 8-R vektorov. Takisto je možná zámena poradia týchto skupín 8-R vektorov, čím sa dajú získať ďalšie modifikácie vektora globálneho skeletu:

$$[ \underbrace{A \ B \ C \ D}_{\text{Group 1}} \ \underbrace{E \ F \ G \ H}_{\text{Group 2}} ]$$

Na vektorové kvantovanie je potrebné poznať počet a tvar všetkých modifikácií vektorov globálnych skeletov. Pre polomer  $K = 2$  pyramídy  $S(16, 2)$  sú tieto modifikácie uvedené v tabuľke 3.

Tab. 3. Všetky modifikácie vektorov globálnych skeletov pyramídy S(16,2)

[0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 2]	[0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 1]
[0, 0, 0, 0, 0, 0, 2, 0]	[0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0]
[0, 0, 0, 0, 0, 2, 0, 0]	[0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0]
[0, 0, 0, 0, 2, 0, 0, 0]	[0, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0]
[0, 0, 0, 2, 0, 0, 0, 0]	[0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0]
[0, 0, 2, 0, 0, 0, 0, 0]	[0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1]
[0, 2, 0, 0, 0, 0, 0, 0]	[0, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 0]
[2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]	[0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0]
[0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1]	[0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0]
[0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1]	[0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0]
[0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0]	[0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0]
[0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1]	[1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1]
[0, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 0]	[1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0]
[0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0]	[1, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0]
[0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1]	[1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0]
[0, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0]	[1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0]
[0, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 0]	[1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0]
[0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0]	[1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0]

Záverom uvádzame v tabuľke 4 dosiahnuté počty kvantizačných vektorov, počty globálnych skeletov a počty modifikácií vektorov globálnych skeletov mriežky  $D_{16}$  pre rôzne prenosové rýchlosti v procese vektorového kvantovania s rozkladom pyramídy.

Tab.4 Počty kvantizačných vektorov, počet GS a počet modifikácií vektorov GS mriežky  $D_{16}$  pre rôzne prenosové rýchlosti.

Polomer pyramídy K	Počet kvantizačných vektorov N	Prenosová rýchlosť n [ bit/zl. ]	Počet GS	Počet modifikácií vektorov GS
2	512	0.5625	4	36
4	44 032	0.9641	18	330
6	1 549 824	1.2852	60	1 716
8	30 316 544	1.5533	173	6 435
10	387 328 512	1.7831	432	19 448

#### IV. ZÁVER

V článku sme sa opísali princíp rozkladu 16-rozmernej pyramídy s mriežkou typu  $D_{16}$ , ako aj spôsob generovania kvantizačných vektorov, ktoré ležia na povrchu tejto pyramídy. Zistili sme počty týchto kvantizačných vektorov na jednotlivých pyramídach a im zodpovedajúce prenosové rýchlosti. Určili sme a overili počty globálnych skeletov a počty možných modifikácií kvantizačných vektorov globálneho skeletu. Tento princíp je možné využiť pri tom, ak sa namiesto mriežky  $D_{16}$  použije optimálna 16-rozmerná Barnes – Wallova mriežka, čím sa dosiahne vyššia účinnosť vektorového kvantizátora s rozkladom pyramídy pre tento rozmer.

Podakovanie patrí Ing. Františkovi Dorákovi, ktorý sa podieľal na riešení tejto problematiky.

#### LITERATÚRA

- [1] Fischer, T. R.: A Pyramid Vector Quantizer. IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 32, Issue 4, 1986, p. 568-583.
- [2] Valin, J.M.: Pyramid Vector Quantization for Video Coding, Sept.2013, [online]: < <http://jmvain.ca/slides/pvq.pdf> >
- [3] Gladišová, I. - Mihalík, J.: Geometrické vektorové kvantizátory. LČSOV FEI TU Košice, 2013.
- [4] Khandelwal, R.R. – Purohit, P. K. – Shrivastava, S. K.: Lattice Vector Quantization for Image Coding Using Expansion of Codebook. The International Journal of Multimedia & Its Applications (IJMA), Vol.4, No.4, August 2012, p. 11-16.
- [5] Gladišová, I. - Mihalík, J.: Mriežkový vektorový kvantizátor so sústrednými pyramídami a entropickým kódovaním. Proc. of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice, 2010, p.770-774.
- [6] Jeong, D.G. – Gibson, J.D.: Uniform and piecewise uniform lattice vector quantization for memoryless Gaussian and Laplacian sources, IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 39, Issue 3, 1993, p. 786 – 804.
- [7] Mihalík, J. - Gladišová, I. - Michalčín, V.: Decomposed Pyramid Vector Quantization by using Barnes-Wall Lattice. 11-th Int. Scien. Conf. "Radioelektronika 2001", Brno, Czech, p.400-403, 2001.
- [8] Gibson, J.D.: Lattice quantization. Advances in Electronics and Electron Physics, Vol.72, Issue C, 1988, p.259-330.

# New Elements of Architecture and Language of x86 family Processors

*Matúš RUSIŇÁK, Slavomír ŠIMOŇÁK*

Department of Computers and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

matus.rusinak@student.tuke.sk, slavomir.simonak@tuke.sk

**Abstract** — Within the paper, we discuss the native language of x86 processor family, its ability to boost efficiency of program executions and possibilities to use it for accessing the hardware resources of computer. In the article we also discuss the basic features of existing architectures of processors, which are developed by the Intel Company. In addition to basic features, we also discuss the individual SIMD technologies extending the basic set of instructions. Based on these technologies, an application was implemented, which demonstrates the performance benefits of utilizing these expansion technologies and presents various ways of accessing hardware resources of computer.

**Keywords** — Processor architecture, SIMD, Assembly language, Instruction sets, MMX, SSE, Hardware access

## I. INTRODUCTION

Nowadays, processors are already an integral part of daily human's life. They are found in almost every electronic device which we use every day, whether it's a computer, a mobile phone or a tablet. Due to ever-increasing user needs, processor manufacturers must continually improve the technical parameters of their products. Both major companies in the field, Intel and AMD literally compete in the performance of their processors, and each year they design new processor micro-architectures, which use new technologies and instruction sets.

Since such powerful processors can largely cover the needs of software, we do not put enough emphasis on the issue of efficient program execution. However, there are number of applications in which the speed of execution of program is decisive, and it is necessary to use technologies supported by the processor as efficiently as possible.

It follows from the above facts that the use of low-level languages, along with higher-level languages, still has its justification. In addition, such a mixed code is characterized by high speed and with the help of higher programming languages, it is relatively easy to use.

## II. GOALS AND MOTIVATION

The main goal of this work is to become acquainted with the current state of development in processor architecture of the x86 family and also about the language of the processors and the possibilities of using it to streamline the execution of programs and to access the hardware of the computer. The aim of this work is also to illustrate this knowledge in the form of an executable application and to evaluate the benefits of introducing the new elements into the x86 family processor architectures.

## III. ANALYSIS

The processor language, also known as the symbolic language or symbolic instructions (or inaccurate assembler), is a low-level programming language formed by the symbolic representation of the machine instructions needed to create the program's machine code for the processor. This symbolic representation of the language is based on mnemonic abbreviations expressing the meaning of the instruction (i.e., what the given instruction does), respectively they mark symbolic registers, word abbreviations, and so on. Due to the fact that the machine instructions of the different processor families, as well as the possibilities of addressing their memory, are usually the main differences, each processor family has its own different symbolic representation. The rules of this representation are always determined directly by the manufacturer of the particular processor. For this reason, programs written in the assembly

language, unlike high level languages, are very difficult to transfer between platforms. In terms of program speed, programs written in the symbolic language are just as effective as programs that are written directly in the machine code, not only in terms of speed but also in terms of memory usage. Each instruction in the language of symbolic addresses corresponds to the actual instruction in the machine code [1]. However, the source text of these programs is much longer and also less clear [1]. In the case of speed and memory savings, however, it also depends on how the code is written. Even the program written in the symbolic language can be slower and more memory-intensive than the program written in higher programming language.

The assignment of memory places to individual symbolic addresses takes care of the language translator, assembler. In simple terms, Assembler translates instructions in the symbolic language into machine-language instructions [2].

#### A. Processors architectures

The term processor architecture can be defined as the basic arrangement of functional parts of the processor in terms of their relationship and the tasks performed. Low-level languages are closely related to the processor architecture. Architecture has a strong influence on the shape of the program's instructions, as well as its entire construction [1].

Modern processor architectures are characterized in particular by the following features [1]:

- Pipelining
- Dynamic processing of instructions
- Cache memory
- SIMD technology (Single Instruction, Multiple Data)

At present, the latest technologies are focusing on improving architectures by speeding up the execution of program calculations using concurrent processing of instructions (so-called parallelism) [1].

#### B. x86 architecture

The term x86 refers to Intel microprocessor family architectures. This was originally derived from the Intel 8086 processor name designed in 1978. It was a 16-bit processor produced by NMOS technology and was an extension of existing Intel 8080 and 8085 8-bit processors. The size of its memory address space was at that time 1MB. Over the years, x86 has been implemented in a variety of processors, including those from Intel, AMD, IBM, VIA, or NexGen [2].

x86 family of processors can be divided into two categories:

- **IA-32 processors** also referred to as x86-32 or i386. They are a 32-bit extension of the original 16-bit processors (Intel 8086 - 80286) and use the CISC instruction set. These processors do not allow 64-bit code execution, but provide full compatibility with 16-bit x86 architectures. This architecture is used, for example, by Pentium, Celeron or Xeon processors [3].
- **x86-64 processors** also referred to as AMD64 (AMD) or EM64T (Intel). They are an extension of previous 32-bit x86 processors. These processors enable the 64-bit code execution and also provide compatibility with 16 and 32-bit x86 architectures. This architecture is used, for example, by Athlon 64, Sempron, Pentium D or Core 2 Duo processors [3].

#### C. SIMD system

This architecture was first used in vector supercomputers in the 1970s. These computers worked with the data vector using only one single instruction and were characterized in particular by massive vector data processing. Over the time, SIMD systems in supercomputers have been replaced by MIMD systems, and SISD architectures on personal computers have been replaced by SIMD systems. The vast majority of current processors use the SIMD instructions. The use of this technology has its advantages especially in the areas of multimedia and applications based on vector and matrix computations. In the case of these calculations, the same operation is carried out on different elements.

Based on the SIMD principle, Intel has developed technologies like MMX (MultiMedia Extension), SSE (Streaming SIMD Extension) and AVX (Advanced Vector Extension).

#### D. MMX (MultiMedia eXtension)

It is a multimedia technology developed by Intel for Pentium MMX (1997). Its purpose is to extend the processor instruction set with respect to the needs of modern multimedia programs. The expansion of the architecture is based mainly on L1 memory expansion from the original 16KB to 32KB and the possibility of using eight 64-bit registers (MM0-MM7). These registers can be divided into 8 independent bytes, four 16-bit independent words, two 32-bit double words containing integers or one 64-bit word.

Registers use SIMD technology and also support parallel processing. This ensures higher program efficiency because one instruction handles up to 64 data bits. Another enhancement to the architecture is the extension of the instruction set, with 220 machine instructions and 57 multimedia instructions.

The MMX instructions use the same principles as the FPU instructions to communicate with the OS, and are also executed in the same mode. The main drawback of MMX technology is that it can only work with integer numbers. This shortcoming, however, a year later managed to overcome the competing company AMD with its 3DNow! technology. Intel has removed this deficiency in the new SIMD instruction sets SSE and SSE2.

#### E. SSE (Streaming SIMD Extension)

The SIMD instruction set was developed by Intel (1999) in response to a competitive instruction set 3DNow! created by AMD. The instruction set was introduced with the Intel Pentium III processors. SSE extends MMX with new features. One of the most important of the extensions is the ability to perform parallel operations with single-precision floating-point and double-precision floating-point numbers [14]. Another extension that SSE has brought is 8 new 128-bit registers (labeled XMM0 to XMM7) as well as 70 new instructions. The AMD64 expansion from AMD later extended the number of registers by another eight. They carry the names XMM8 to XMM15 and are only available in 64-bit mode (so-called Long Mode) [4]. In the case of the SSE, the registers can be accessed in any order - it is not necessary to store the status and to change the mode as in FPU or MMX.

Each register can contain these data types [4]: sixteen 8-bits vector integer values, eight 16-bits vector integer values, four 32-bits integer values, two 64-bits integer values, four 32-bits values in a floating point representation with simple precision, two 64-bits values in a floating point representation with double precision.

The SSE instruction set also has its followers, other instruction sets that extend this SSE suite. Specifically, these are SSE2, SSE3, SSSE3, SSE4, and SSE5.

#### F. Hardware access

Every computer communicates with its hardware in different ways. The Windows operating system resolves access to its hardware resources as follows. At Windows 95, 98 and ME operating systems, programs can, like in DOS, directly access the hardware resources (using opcodes). In assembly language, we use for such access **IN** and **OUT** instructions [6].

- Instruction **IN** (Syntax: *IN AL/AX, port address/DX*) – This instruction copies the value from a given port to either the AL or AX registers (depending on the port type). If the port address is from interval <0,255>, it can be listed directly in the instruction. If the value of the address is not from given interval, it must first be stored into the DX register [1].
- Instruction **OUT** (Syntax: *OUT port address, AL/AX*) – This instruction copies either the content of the AL or AX registers to the specified port. As with the previous instruction, if the port address is from interval <0,255>, it can be listed directly in the instruction. If the value of the address is not from this interval, it must first be stored in the DX register [1].

The example of using the OUT instruction:

```
mov dx, 0378h
mov al, data
out dx, al
```

where

*data* – are data to be copied to the port  
*0378h* – is the port address

Equivalents of the two instructions in higher-level languages (C and C++) are functions `inport()`, `inportb()`, `outport()` and `outportb()`. The difference between functions `inport()` and `inportb()` is that the `inport()` can only read 1B (i.e., the value from the interval  $\langle 0, 255 \rangle$ ) and the `inportb()` function can read 2B (ie, the value from the interval  $\langle 0, 65\ 535 \rangle$ ) [7].

Syntax of functions `inport()` and `outport()` [7]:

```
int value = inport(unsigned int address);  
outport(unsigned int address, int value);
```

Windows NT, XP and above, however, do not allow such direct access to hardware. In these architectures, all communication is only through device controllers - such an approach is particularly important in terms of security. However, the problem with the access to hardware devices can be solved, for example, by using dynamic open-source libraries like `inport32.dll` and `inport64.dll` [6].

#### G. *Inpout32 and inpout64 libraries*

Are open source libraries from Logix4U, designed for 32 and 64-bit versions of Windows operating systems. These libraries allow direct access to hardware. After installation into the system, the `HWInterface.sys` system driver is expanded and installed to enable communication, for example, with the parallel port of the computer. The libraries contain several functions, including the I/O functions `Inp32` and `Out32` (or `Inp64` and `Out64`) enabling port data to be read or written to the port [6].

Libraries can be used in virtually any programming language that supports DLL libraries (C, C++, C#, VB, Pascal, etc.). However, for the correct running of the program, it is necessary for the library to be in the same directory as the program. The second option is to copy the DLL library to the `Windows/system32` directory.

As for the use of these libraries in C++ or C#, individual library functions can be imported into the program using function `DllImport`. To call this function, it's required to use the following reference:

```
using System.Runtime.InteropServices;
```

The following example illustrates importing `Inp32` and `Out32` functions to C# functions `inportb` and `outportb`.

```
[DllImport("inpout32.dll", EntryPoint = "Inp32")]  
public static extern int inportb(int address);  
  
[DllImport("inpout32.dll", EntryPoint = "Out32")]  
public static extern void outportb(int address, int value);
```

## IV. SOLUTION AND RESULTS

The main task of this work is to design and implement an application that will present a performance comparison of programs using technology that extends the basic instruction sets of today's processors with the performance of programs written in the higher programming language. The application will also serve to access the hardware components of a computer, using the open-source library `inpout32.dll` and .NET interface. Specifically, it will be the parallel and the serial port of the computer. From the expanding instruction suite, the application will mainly use MMX and SSE instructions, and as a higher programming language the C# will be used.

The proposed solution will consist of two parts, components, that dependent on each other:

- the application written in the C# language where the user will enter different inputs,
- DLL library written in C++ language. The library will contain functions, respectively code parts written in assembler. These features will be exported from the library to the C# application.

The interaction between the user, the C# application, and called DLL libraries is shown in the proposed scenario diagram (Fig. 1).



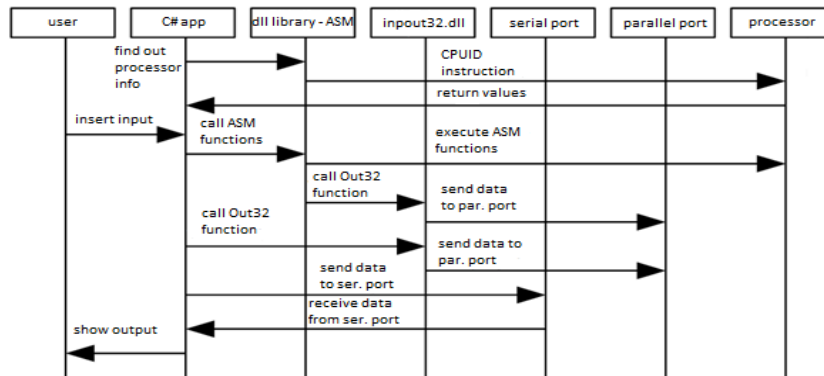


Fig. 1 Scenario diagram

### A. Creating the application and DLL library skeleton

We used the C# programming language to implement the application. To create an application skeleton in MS Visual Studio, we need to do the following steps:

1. to create a new project, by selecting the following option: File – New – Project...,
2. to select the option Visual C# - Windows Forms Application,
3. to enter the name of the project and click Ok.

Once the previous steps have been met, we have created the C# skeleton of the application. Unlike C++ or C, C# does not allow to insert a block of assembly language into your code. For this reason, we need to define a DLL library. It can be written in any programming language. In our case, we choose C++.

We create the library as follows:

1. as with the C# application, we create a new project: File – New – Project...,
2. then we select the option C++ - Win32 Project,
3. next, we select Application type: DLL and click Ok button.

With this DLL, we can then work as with a standard C++ project. Any library function that will be called by the C# application need to be written in the following shape:

```
extern "C" __declspec(dllexport) return_type __stdcall function_name(parameters)
```

Into such functions, it is possible to insert blocks of assembly code (inline assembly).

Then we can import the library and its individual features into any C# application using the DllImport function.

```
[DllImport("library_name", EntryPoint = "function_name")]
public static extern return_type function_name(parameters);
```

For using the DllImport function, it's required to call the following reference:

```
using System.Runtime.InteropServices;
```

### B. CPUID instruction

One of the basic elements of the application is a form showing basic processor information - i.e. the type of processor, its maker, model, the family to which the processor belongs, as well as the SIMD technologies that the processor supports. All this information can be detected using the so-called CPUID instruction. This instruction was introduced by Intel and is supported on all x86 processors starting from the Pentium.

Other important elements of the application are three switch cards. Each of these cards will serve for inserting inputs and showing outputs for one of the proposed programs.

### C. Performance test – adding two integer arrays

The first card contains three data fields, each of which serves to show the output of the called subroutine. Each subroutine performs the same task, but using different technology (C#, MMX, and SSE). Functions containing MMX and SSE instructions are imported into C# application from the DLL library using the DllImport command. The task being performed consists of sum of two integer fields of the specified length, containing arbitrary values from the entered value

intervals. The number of iterations of additions is also entered by the user. If the user himself does not enter any input values, the subroutines will work with the default values that are stored and visible in the individual text fields of the card. Due to the execution speeds, the resulting times for each field will be displayed and stored in milliseconds. The resulting times for the particular subroutines, along with the specified parameters and processor information, can be stored by simply pressing the "Save results" button. The user can then select the file name and the path to save the text file with the results.

#### D. Parallel port – data pins control

The second card consists of buttons and text boxes used to enter input parameters and display individual test program results. With the help of the implemented program it is possible to control the eight data pins of the selected parallel port of the computer. Since direct access to hardware is not possible on Windows systems starting from the NT, we need to use the open-source library `inpout32.dll` to access the parallel port. From the library we will use the `Out32()` output method. Using the `DllImport` command, we import the library and its method into the C# application in the same way as we did in previous section. Loading the library and its methods in the C++ functions which use assembler will be done by using the `LoadLibrary` command.

```
typedef short (*OUT32_PTR) (short address);
HINSTANCE library;
library=LoadLibrary("inpout32.dll");
OUT32_PTR Out32 = (OUT32_PTR)GetProcAddress(library, "Out32");
```

Then we can call the `Out32` method from the assembly code by using the `CALL` instruction. First, however, we must store the parameters of the function to the top of the stack. This can be done by using the `PUSH` instruction.

```
PUSH EBX; //output values
PUSH EAX; //port address
CALL Out32;
```

#### E. Serial port – communication

The third and the last card is implemented in C# language. This card contains text boxes that serve to send and to view a text data and files received via a serial port of a computer. We also implemented a window which contains the settings of the selected port. This program does not use any external libraries to access the port, only features provided by the .NET interface are used. With this interface, we can directly access the serial port of a computer. Access to the serial port is provided by the `SerialPort` class. We can use the `Open()` function to connect to the selected serial port and function `Close()` to disconnect from the port.

## V. CONCLUSION

When implementing the application, we only relied on the requirements defined in its proposal. Based on these requirements, as well as the test phase of the application, it can be clearly confirmed that using a low-level language assembler and instruction sets extending the basic x86 instruction set, it is possible to create the application whose code is more efficient than the code written in one of the higher programming languages.

In addition to the efficiency of individual technologies, this work also present possibilities to access the hardware resources of the computer, not only with the help of the low level assembly language, but also with the higher programming language C#. Work can also serve as a guide to create a variety of applications through which we can efficiently access the different hardware components of the computer.

## REFERENCES

- [1] JÁNOŠÍKOVÁ, Eudmila: *Programming in symbolic address language for 32-bits Intel processors*. Žilina: EDIS, 2000. 149 p. ISBN 80-7100-723-4.
- [2] BEDNARČÍK, Peter: *System programming in assembler language*. Master thesis. [Online] Technical university of Košice, 28. 08. 2013.
- [3] SHANLEY, Tom: *x86 Instruction Set Architecture: Comprehensive 32- and 64-bit Coverage*. Colorado Springs, USA: MindShare Press. 2009. 1504 p. ISBN: 0-9770878-5-3.
- [4] ŠLENKER, Samuel: *Last generation computing units of processors and their use*. Bachelor thesis. [Online] Technical university of Brno, 02. 06. 2015.
- [5] SOFTWARE.INTEL.COM: *Introduction to Intel Advanced Vector Extensions*. [Online] [cit. 11. 2. 2017]. Available from: <<https://software.intel.com/en-us/articles/introduction-to-intel-advanced-vector-extensions>>.
- [6] WIKI.FREEPASCAL.ORG: *Hardware Access*. [Online] [cit. 11. 2. 2017]. Available from: <[http://wiki.freepascal.org/Hardware\\_Access](http://wiki.freepascal.org/Hardware_Access)>.
- [7] JADLOVSKÝ, Ján – PAPCUN, Peter: *Computer systems in management*. Košice: Technical university of Košice, 2015. 415 p. ISBN 978-80-553-2102-8.

# Modernization and extension of visualization VizAlgo platform

<sup>1</sup>Michal MIŠEV, <sup>2</sup>Slavomír ŠIMONÁK

Department of Computers and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University v Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>michal.misev@student.tuke.sk, <sup>2</sup>slavomir.simonak@tuke.sk

**Abstract** — This article is focused on description of modernization and extension of the VizAlgo platform. VizAlgo platform is intended for interactive visualization of algorithms and data structures. The main motivation for these changes was improvement and increased efficiency of using the platform for educational purposes within the Data structures and algorithms subject. This article describes design and implementation of the platform modernization. The VizAlgo platform was extended by new plugins performing visualizations of additional sorting algorithms. In conclusion of this paper, we describe some of the further possible extensions of the platform.

**Keywords** — algorithms, data structures, visualization, VizAlgo, platforms, plugins, Java, JavaFX.

## I. INTRODUCTION

Nowadays many visualization tools exist such as VisuAlgo [1], Data Structure Visualizations [2], Sorting algorithm visualisation [3], that allow for better understanding of algorithm and data structures operation. Usually such tools are used in the field of information technology education. Asset of these tools is graphic representation of algorithms and data structures, which allows for better understanding of execution operation for the students. VizAlgo platform [4] is one of these tools focused on visualization algorithms and data structures. One of the main motivations for future extension and modification of the platform are positive responses to the usage of visualization during lessons [5]. Analysis of current state of VizAlgo platform proved, that there are weaknesses in application architecture, in already existing plugins and also in core application itself. These weaknesses include missing advanced visualization, backwards stepping, testing mode, which could allow testing students during practice [6]. Regarding to this analysis it was proved, that the current state of VizAlgo platform doesn't ensure all of the functionalities and plugins needed for educational purposes of Data structures and algorithms. The goal of this article is to create design and implement a new application architecture, which should remove bugs and restrictions and also ensure easier implementation of new plugins and next extensions. One of the next aims of this article is to improve application graphic user interface and add new plugins.

## II. DESIGN OF MODERNIZATION AND EXTENSIONS FOR VIZALGO PLATFORM

Regarding to the analysis there was built up requirements for modification VizAlgo platform. These requirements could be divided into two parts. The first part includes design and implementation of new architecture for VizAlgo platform. The second part is focused on updating already created plugins and creation of new ones.

### A. Enhancement suggestions for VizAlgo platform core

The core of application consists of classes and interfaces, that [7] provide control and visualization of the selected module and also creation of application graphic user interface. VizAlgo and VizApplet can be considered as the most important classes. VizAlgo class serves to create list of all available plugins [7] loaded from plugins directory. The next purpose of the VizAlgo class is [7] establish running of application itself and handling algorithms animation during the visualization. VizApplet class [7] implements application graphic user interface and set the graphic components into form containers. Classes Area, CodePanel, VisualPanel, ModulViz, ModulCode and interface ModulAlg contain methods for [7] correct application functionality and also methods used for creation each module, such as pseudocode line marking or handling inputs from user.

Possible extension for class VizAlgo could be splitting methods, which control algorithm animation into plugins itself. This should provide modules independence, and also possibility to

implement new plugins without modification of application core. Useful extension for the class `VizApplet` could be splitting graphic components into separate FXML file, to provide better source code readability and also simple maintenance for application components. Useful extension for classes `Area`, `CodePanel`, `VisualPanel`, `ModulViz`, `ModulCode` and interface `ModulAlg` could be splitting methods, which manage modules into plugins itself, to provide modules independence. One of the next possible extensions for application core could be to change visualization process for modules and pseudocode that are performed through separate threads, that cyclically overdraw visualization panel and pseudocode panel. And also to improve application graphic and add possibility to resize the application window.

#### *B. Suggestion enhancement for sorting algorithms*

Useful extension for sorting algorithms could be improvement of graphic and sorting animation, add possibility to change visualization and language during modules execution. Next useful extension could be removal of restrictions for setting custom numbers, improve graphic for control panel. Another possible upgrade could be automated turning on and off plugins, add complexity graph and creation category for sorting algorithms in the list of available plugins for better readability.

#### *C. Suggestion enhancement for data structures*

Possible extension for data structures could be to remove restriction for modules executed in separate window, remove restriction for count and size of input values. Next additional possibility is to change animation tempo for module implementing hash table, improve graphic and animation for data structure plugins. Another possible upgrade could be add possibility to change language during modules execution, improve control panel graphic, automated turning on and off modules and creation category for data structures in the list of available plugins for better readability.

#### *D. Suggestion enhancement for graph transition*

Useful extension for graph transition could be to remove mistaken graph transition antidirection of arrows and removing restrictions for changing language, improve control panel graphic, provide automated turning on and off modules and creation category for data structures in the list of available plugins for better readability.

#### *E. Design new plugins*

Based on the platform analysis was the first of designed plugins Cocktail sort [8], which is performing sorting algorithm. Based on this module there was created even more additional modules for visualization of sorting Comb sort [9], Gnome sort [10], Merge sort [11] a Stooage sort [12].

### III. IMPLEMENTATION OF SELECTED EXTENSIONS AND PLUGINS

#### *A. New VizAlgo application architecture design*

Purpose of this change is to split classes and methods needed for managing plugins visualization from classes and methods, which provide managing application. This application architecture change should provide possibility for creation new plugins without the interfering to core of application. It should make source code more clear, adjustable and easier to maintain. The purpose of the split graphic components setting into separate FXML file is to improve better source code readability and also easier maintenance for the application components.

For the new application architecture design it was necessary to add and implement new classes and interface (Fig. 1).

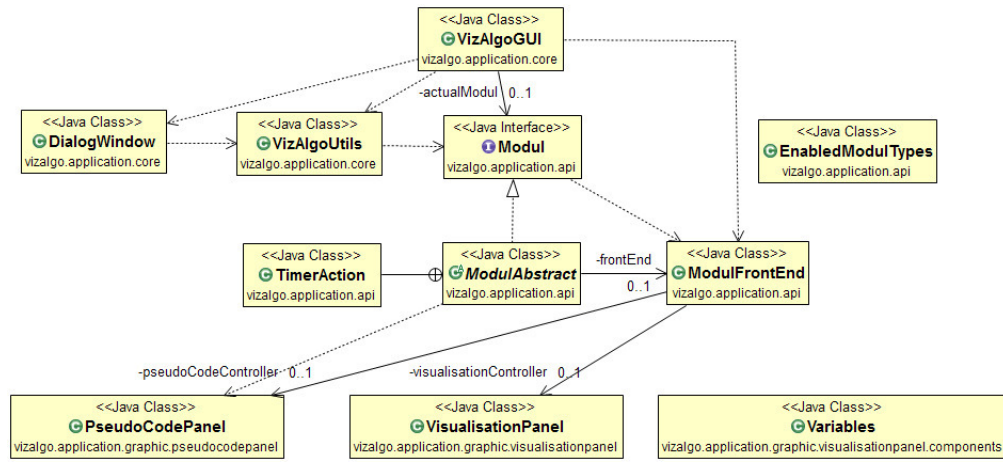


Fig. 1 New design for VizAlgo application architecture.

The newly created application architecture and division of creating graphic components into separate FXML files allowed to edit graphic user interface by editing only the FXML files without the interfering to core of application. Design of the graphic user interface (Fig. 2) was created by JavaFX Scene Builder tool.

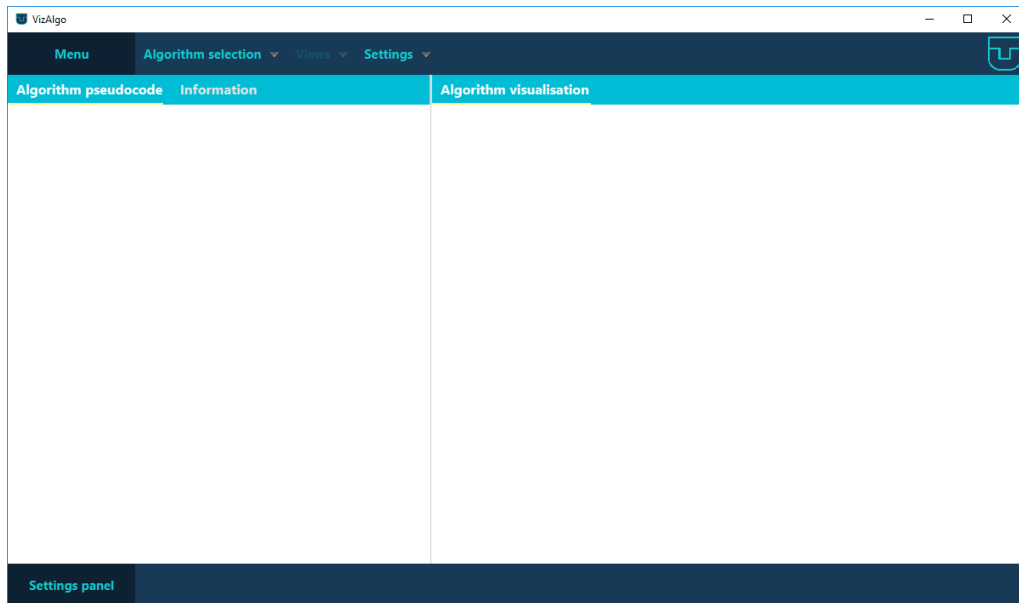


Fig. 2 Newly created graphic user interface for VizAlgo.

### B. Sorting algorithms improvements implementation

These changes were intended to create better and more engaging graphic representation of sorting execution that should allow for better understanding of sorting algorithms, removing restrictions that are in the application and improve its applicability and availability of its features.

The improvements implementation for the graphic representation of sorting algorithms (Fig. 3, Fig. 4) demanded to create some new classes and interface, which allows creation and visualization of new graphic components.



Fig. 3 Graphic component ellipse.

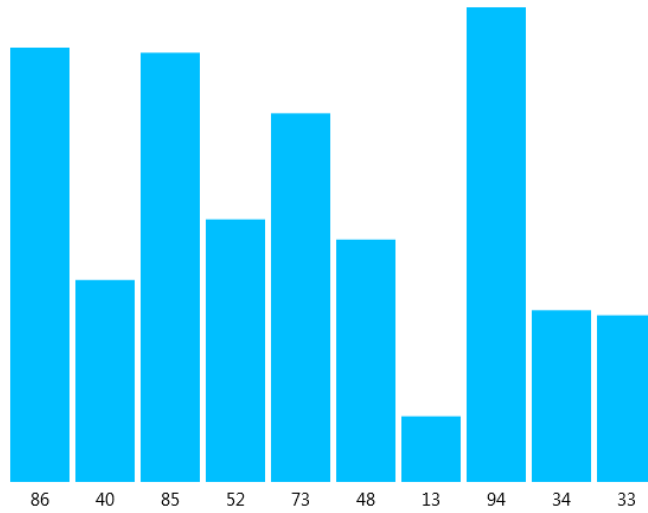


Fig. 4 Graphic component column.

These changes allowed improving the graphic representation for plugin heapSort, for which a new heap visualization has been added (Fig. 5) and plugin radixSort, for which a new visualization of columns used for sorting has been created (Fig. 6). These changes allowed also adding complexity graph for sorting algorithms.

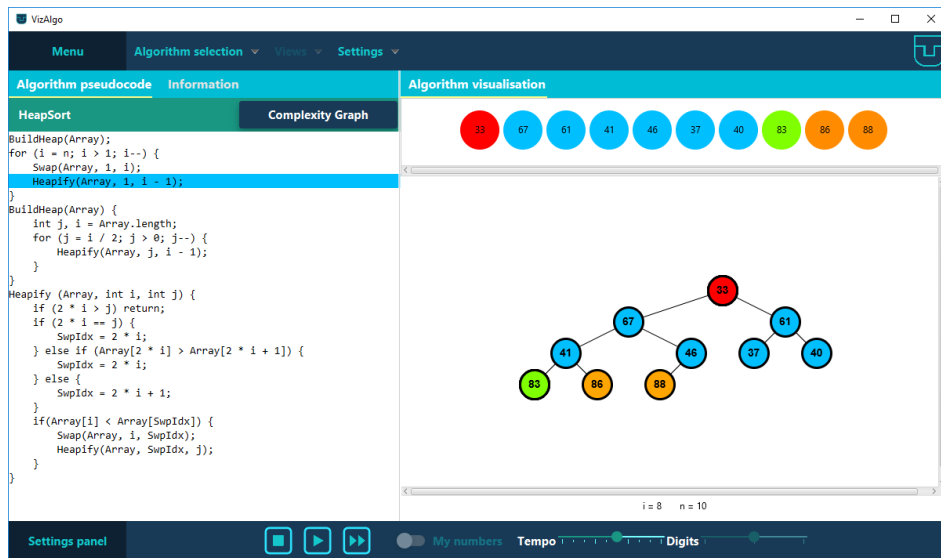


Fig. 5 Implementation of new visualization for heap.



Fig. 6 Implementation of new visualization for algorithm radix sort.

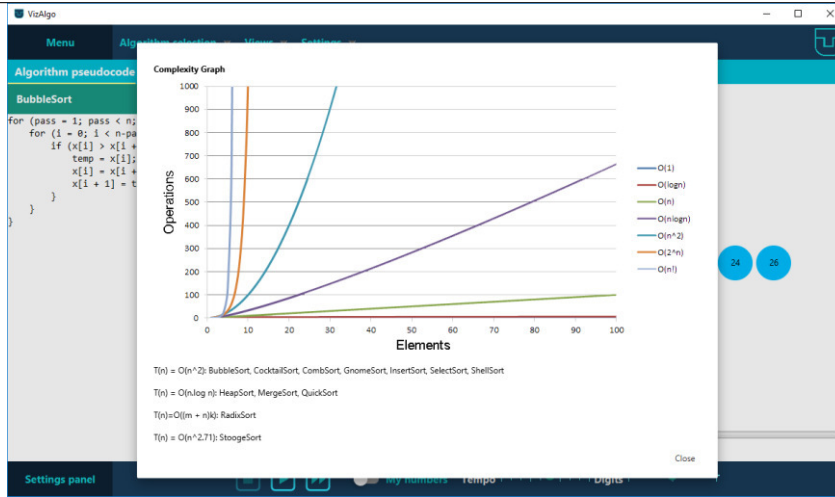


Fig. 7 Complexity graph.

### C. Implementation of improvements for data structures

These changes were intended for removing restrictions for plugins running in a separate window, restrictions for count and size of numbers (Fig. 8). For these changes it was necessary to edit classes of already existing plugins, that allowed also to remove the restrictions for changing language by executing plugins and automated turning on and off for the plugins.

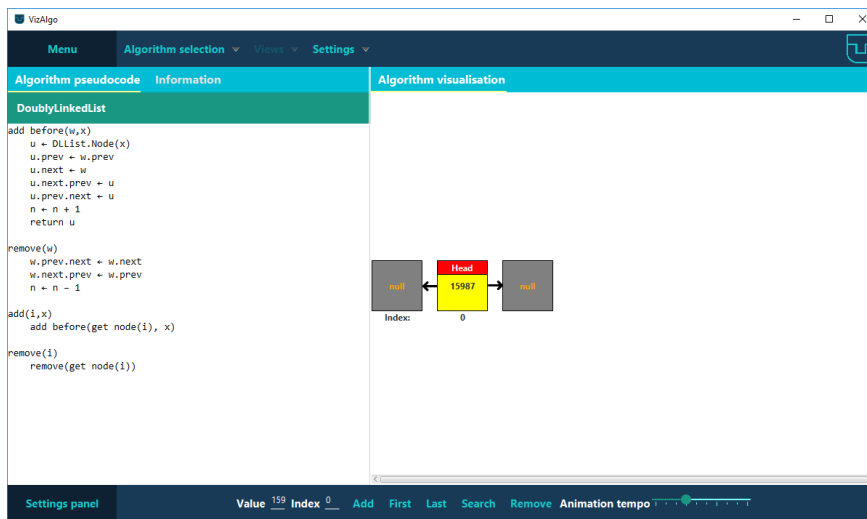


Fig. 8 Removed restrictions for data structure plugins.

### D. Implementation of improvements for graph transition

These changes were intended for removing mistaken graph transition antidirection of arrows and removing restrictions for changing language during plugin execution. For these changes it was necessary to edit classes of already existing plugins, that allowed also to improve graphic of control panel, automated turning on and off for the plugins and creating category for graph transition in list of available plugins for better readability (Fig. 9).

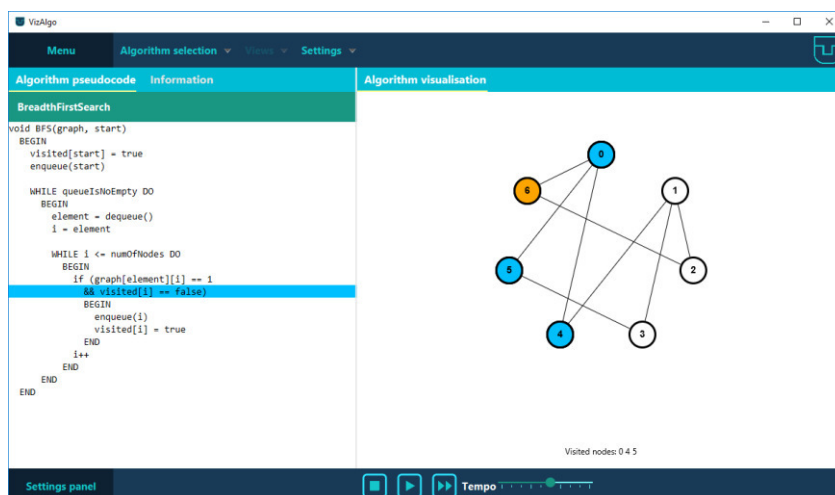


Fig. 9 Sample of changes made for graph transition plugins.

### E. New Plugins implementation

For the implementation of all new plugins it was necessary to implement control panel for each of modules, which will control their execution. The easiest way to implement the control panel is to set graphic components by JavaFX Scene Builder tool into separate FXML file. It was necessary to create controller for these components, which will control these graphic components. The created controller was set for class FrontEnd that allowed controller to be connected to the core of application. It was necessary to do this set by starting the module, that allows method start(). The newly added plugins for visualization of sorting algorithms are demonstrated on CocktailSort (Fig. 10).



Fig. 10 Sample of newly added plugin CocktailSort.

## IV. CONCLUSION

Platform modernization and new added plugins for visualization of sorting algorithms Cocktail sort [8], Comb sort [9], Gnome sort [10], Merge sort [11] and Stooge sort [12] allows to the users of VizAlgo platform to better understanding the operation of mentioned algorithms. The new architecture of application eliminates the errors, which were present in previous version. This change fixed restrictions of previous version such as numbers scope and count, change of language and visualization type during the modules execution. The next benefits of this architecture are clearer and more readable source code, easier maintenance, which allowed simple upgrade of graphic user interface for VizAlgo application. Future innovations for this platform are extending it for the new plugins of algorithms and data structures. The next appropriate extension for VizAlgo platform in the future could be adding a testing mode, that allows for testing the students during the subject Data structures and algorithms. Platform JavaFX allows creating cross-platform applications, so regarding this feature the VizAlgo platform could be extended to a web and mobile application.

## REFERENCES

- [1] "VisuAlgo". Last updated 2017. [Online] <https://visualgo.net/en>.
- [2] D. Galles, "Data Structure Visualizations". Last updated 2011. [Online] <https://www.cs.usfca.edu/~galles/visualization>.
- [3] A. Cortesi, "Sorting algorithm visualization". Last updated 2010. [Online] <http://sortvis.org>.
- [4] S. Šimoňák, "Algorithm Visualization Using the VizAlgo Platform Acta Electrotechnica et Informatica", Vol.13, No.2 (2013).
- [5] S. Šimoňák, "Algorithm visualizations as a way of increasing the quality in computer science education", IEEE 14th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics, SAMI 2016, Herl'any, Slovakia, pp.153-157.
- [6] S. Šimoňák, M. Benej, "Algomaster: the algorithm and data structures visualization platform." Computer Science and Technology Research Survey : volume 7. - Košice : TU, 2014 S. 7-14.
- [7] L. Kukľa, "Vizualizácia algoritmov a údajových štruktúr s využitím platformy VizAlgo", FEI TUKE, Diplomová práca, 2016.
- [8] P. E. Black, B. Bockholt, "Bidirectional bubble sort. Dictionary of Algorithms and Data Structures", sep, 2014.
- [9] B. Brejová, "Analyzing variants of Shellsort. Inform." Process. Lett. 79 (5): 223-227. sep. 2001.
- [10] P. E. Black, "Gnome sort. Dictionary of Algorithms and Data Structures." U.S. National Institute of Standards and Technology. aug. 2011.
- [11] K. Jyrki, T. Pasanen, T. Jukka, "Practical in-place mergesort." Nordic Journal of Computing. 3. pp. 27-40. ISSN 1236-6064. apr. 2009.
- [12] P. E. Black, "Stooge sort. Dictionary of Algorithms and Data Structures." National Institute of Standards and Technology. June 2011



# Medzisnímková predikcia s pohybovou kompenzáciou s prvkovou presnosťou

Iveta GLADIŠOVÁ<sup>1</sup>, Ondrej KOVÁČ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>2</sup>Katedra technológií v elektronike, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

iveta.gladisova@tuke.sk, ondrej.kovac@tuke.sk

**Abstrakt** — Článok popisuje algoritmus určenia vektora pohybu pri medzisnímkovvej predikcii obrazových prvkov bloku s kompenzáciou pohybu s prvkovou presnosťou za pomoci programového prostredia Matlab. Estimácia pohybu bola dosiahnutá metódou blokového prispôsobovania v priestorovej oblasti, označovanej aj ako suma absolútneho rozdielu, pretože je vhodná na implementáciu do VLSI. Článok popisuje techniku pyramídového prehľadávania v troch úrovniach, kde v 3. úrovni mal blok veľkosť 2x2 obrazové prvky, v 2. úrovni 4x4 obrazové prvky a v 1. úrovni 8x8 obrazové prvky. V závere je vyhodnotenie porovnania veľkostí predikčnej chyby bez kompenzácie a s kompenzáciou pohybu pre skupinu testovaných videosekvencií.

**Keľúčová slová** — medzisnímková predikcia, kompenzácia pohybu, technika pyramídového prehľadávania, prvková presnosť

## I. ÚVOD

Videosekvencia vykazuje vysoký stupeň korelácie vo vnútri jednej snímky, ale aj v postupnosti snímok idúcich za sebou [1]. Medzisnímková predikcia obrazu tak využíva na predikciu aktuálneho obrazového prvku v práve spracovávanej snímke aj obrazové prvky z predchádzajúcich snímok. Adaptívny algoritmus predikcie obrazu s pohybovou kompenzáciou používa na predikciu obrazový prvok z predchádzajúcej snímky, ktorý je určený vektorom pohybu. Estimácia tohto vektora pohybu sa však nevykonáva pre každý obrazový prvok v aktuálnej snímke, ale sa vykonáva pre definované bloky. Estimáciu pohybu je možné dosiahnuť metódou blokového prispôsobovania v priestorovej oblasti. Jedným zo spôsobov, ako redukovať počet hľadání je estimovať aj množstvo pohybu postupne od nízkeho rozlíšenia k najvyššiemu rozlíšeniu snímok [2].

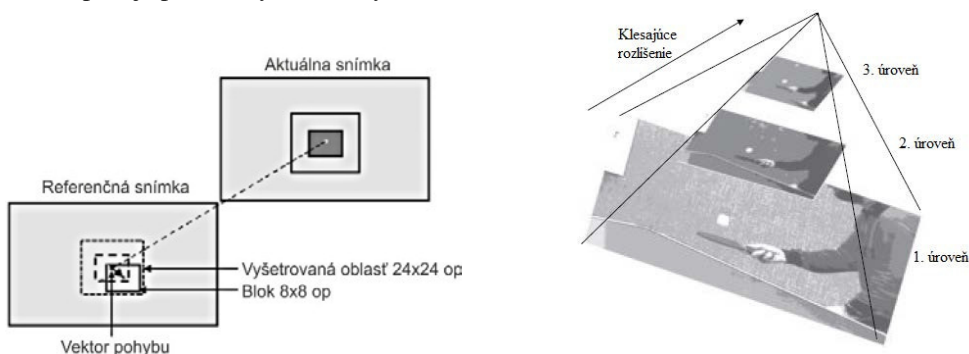
## II. METÓDA BLOKOVÉHO PRISPÔSOBOVANIA

V našom matlabovskom programe na testovanie medzisnímkovvej predikcie s kompenzáciou pohybu s prvkovou presnosťou sme využili metódu blokového prispôsobovania, pričom jej princíp vysvetlíme na dvojiciach časovo susedných snímok *stolny\_tenis1.ras* a *stolny\_tenis2.ras* pre bloky veľkosti 8x8 op (obrazové prvky), vyšetovanú oblasť veľkosti 24x24 op, s rozlíšením 352x240 op a s veľkosťou jedného op 8 bitov.

Snímka je rozdelená do blokov 8x8 op. Pre daný blok v aktuálnej snímke *stolny\_tenis2.ras* je vypočítaná suma absolútneho rozdielu medzi týmto blokom a blokom rovnakej veľkosti vo vnútri vyšetovanej oblasti v referenčnej (predchádzajúcej) snímke *stolny\_tenis1.ras*. V technike blokového prispôsobovania je teda blok op v aktuálnej snímke prispôsobený k bloku rovnakej veľkosti op v referenčnej snímke použitím daného kritéria prispôsobovania. Pretože proces prispôsobovania je výpočtovo náročný a pretože sa veľmi veľký pohyb medzi príľahlými snímkami neočakáva, tak je proces prispôsobovania obmedzený na vyšetovanú oblasť omnoho menšej veľkosti než obraz snímky, teda v tomto prípade je veľkosť vyšetovanej oblasti 24x24 op. Proces blokového prispôsobovania je na obr.1 vľavo. Suma absolútneho rozdielu (SAR) je ukázaná v rovnici (1), kde  $d_x$  je pohyb medzi blokmi v horizontálnom smere a  $d_y$  vo vertikálnom smere, pričom  $b[m, n, k]$  je blok v aktuálnej snímke a  $b[m, n, k - 1]$  v predchádzajúcej snímke. VO je vyšetovaná oblasť [2], [5].

$$SAR(d_x, d_y) = \sum_{(m,n) \in VO} |b[m, n, k] - b[m - d_x, n - d_y, k - 1]|. \quad (1)$$

Blok aktuálnej snímky je v strede vyšetrovanej oblasti, pričom obrazové prvky na okraji jednej aj druhej snímky musíme doplniť o 8 op po celom okraji, takže veľkosť testovaných obrazov bude teraz  $(352+16) \times (240+16) = 368 \times 256$  op. Vektor premiestnenia, ktorý vyplynie z najmenej hodnoty SAR, je estimácia vektora pohybu pre tento blok, čo poskytne vektor pohybu so zložkami v horizontálnom a vertikálnom smere, pričom veľkosť zložiek je vyjadrená v počte op. To sa opakuje pre všetky  $8 \times 8$  bloky v snímke.



Obr. 1 Proces blokového prispôsobovania (vľavo) a 3-úrovňová „pyramída“ snímky 40 z videosekvencie *stolny\_tenis* (vpravo).

Po nájdení vektora pohybu nasleduje proces, v ktorom už môže byť blok v aktuálnej snímke zarovnaný s blokom v referenčnej snímke a môžu byť nájdené zodpovedajúce diferenčné op. Týmto procesom zarovnania a rozdielu medzi blokom v aktuálnej snímke a blokom posunutým o vektor pohybu v referenčnej snímke získame chybovú snímku po medzisnímkovvej predikcii s kompenzáciou pohybu [3].

### III. PYRAMÍDOVÁ ESTIMÁCIA POHYBU

Okrem techniky úplného prehľadávania je cestou k redukovaniu počtu hľadání estimovať aj množstvo pohybu postupne od nízkeho rozlíšenia k najvyššiemu rozlíšeniu snímok. Časovo susedné snímky sú najskôr rozložené do niekoľkých úrovní, pričom s každou vyššou úrovňou má snímka menšie rozlíšenie (napr. pri 3 úrovniach má 1. úroveň najväčšie a 3. úroveň najmenšie rozlíšenie). Toto sa nazýva pyramídová štruktúra alebo tiež reprezentácia s viacnásobným rozlíšením. Obr.1 vpravo predstavuje 3-úrovňovú „pyramídu“ snímky 40 z videosekvencie *stolny\_tenis*. Pôvodná snímka tvorí 1. úroveň. Snímka v 2. úrovni je získaná najprv dolnopriepustným filtrovaním pôvodnej snímky použitím 2D Gaussoveho dolnopriepustného filtra a potom podvzorkovaním filtrovaného obrazu faktorom 2 v oboch priestorových rozmeroch. Takto je veľkosť snímky v 2. úrovni  $1/4$  pôvodnej snímky (t.j. snímky 1. úrovne). Podobne aj snímka v 3. úrovni je získaná dolnopriepustným filtrovaním snímky 2. úrovne pomocou toho istého Gaussoveho dolnopriepustného filtra a potom podvzorkovaním filtrovaného obrazu faktorom 2 v horizontálnom a vertikálnom rozmere. Je treba poznamenať, že kvôli opakovanému dolnopriepustnému filtrovaniu sú snímky vyšších úrovní rozmazané.

Po zostavení „pyramíd“ z dvoch časovo susedných snímok je pohyb estimovaný najprv pri najnižšom rozlíšení (najvyššia úroveň). Estimácia vektorov pohybu bude v tejto úrovni hrubá. Akonáhle je vektor pohybu nájdený v 3. úrovni pre blok v aktuálnej snímke, tak je ďalej spresnený prehľadávaním v nasledujúcej nižšej úrovni referenčnej snímky v blízkosti vektora pohybu získaného z vyššej úrovne. K tomu musia byť vektor a súradnice obrazového prvku vhodne upravené. Tento proces pokračuje, až kým nie je prehľadávanie vykonané pri najvyššom rozlíšení (najnižšia úroveň) referenčnej snímky. Pri každom vyššom rozlíšení môže byť veľkosť vyšetrovanej oblasti zmenšená z typickej veľkosti (napr. z  $24 \times 24$  op na menšiu). Treba povedať, že pyramídové prehľadávanie je suboptimálne a prináša horšiu estimáciu pohybu. V porovnaní s technikou úplného prehľadávania je celkový počet operácií požadovaných na estimáciu vektorov pohybu pre všetky bloky zredukovaný napr. o viac než rádovú hodnotu (pri snímkach 40 a 41 z videosekvencie *stolny\_tenis*), kde jedna operácia pozostáva z 1 sčítania a 1 násobenia.

### IV. REALIZÁCIA A ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV

V programe sa začína s dvoma snímkami (dvojice snímok je možné vybrať po spustení programu), pričom pre konkrétne zobrazenie výsledkov sme použili dvojicu snímok *stolny\_tenis*, t.j. predchádzajúcu snímku *stolny\_tenis1.ras* a aktuálnu snímku *stolny\_tenis2.ras*. Najprv sa filtrujú tieto dve snímky použitím 2D Gaussoveho dolnopriepustného filtra. Matlabovská funkcia

„fspecial“ navrhuje 2D Gaussov dolný priepust, pričom dáva možnosť výberu veľkosti filtra a strmost'. Tiež sa dá nastaviť veľkosť filtrovaného obrazu na rovnakú veľkosť, ako vstupného obrazu, použitím parametra „same“. Táto funkcia umožňuje vyplniť vstupný obraz nulami, vykonať replikáciu alebo symetriu. Po filtrovaní snímky sa podvzorkujú faktorom 2 v oboch rozmeroch. To sa vykonáva jednoducho ponechaním každého druhého op v každom druhom riadku [4].

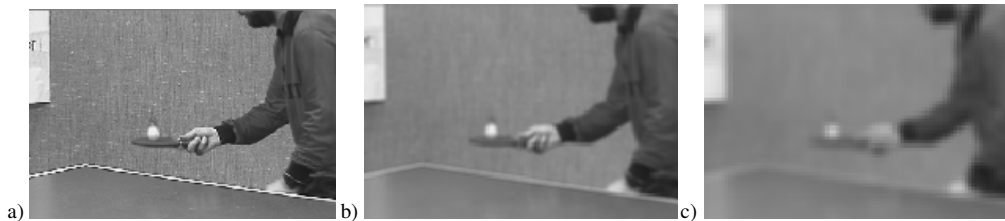
Obr.2 ukazuje dané obrazy v troch úrovniach snímok z našej použitej videosekvencie *stolny\_tenis*. V hornom riadku obr.2 sú obrazy z predchádzajúcej snímky a v dolnom riadku obr.2 sú obrazy z aktuálnej snímky, pričom na 1. úrovni sú snímky s najväčším rozlíšením a s ďalšími vyššími úrovňami sú snímky s postupne nižším rozlíšením, 3. úroveň má teda najmenšie rozlíšenie. Je potrebné upozorniť, že len kvôli zobrazeniu všetkých obrazov v tom istom okne, sa zdajú byť obrázky v troch úrovniach rovnakej veľkosti, ale v skutočnosti nie sú - Matlab interpoluje obrázky na rovnakú veľkosť, keď ich takto zobrazuje. Snímka v 2. úrovni je v skutočnosti 1/4 pôvodnej snímky a v 3. úrovni len jej 1/16.

Po takomto zostavení „pyramíd“ z týchto snímok je pohyb estimovaný najprv pri najnižšom rozlíšení (najvyššia úroveň). Kvôli tomu, že v našom prípade došlo k zníženiu veľkosti snímky v 3. úrovni faktorom 4, tak je potrebné uvažovať bloky 2x2 op a vyšetřovanú oblasť o veľkosti 6x6 op. Estimácia vektorov pohybu bude v tejto úrovni „hrubá“. Akonáhle je vektor pohybu nájdený v tejto úrovni pre blok v aktuálnej snímke, tak je spresnený prehľadávaním v nasledujúcej nižšej úrovni predchádzajúcej snímky v blízkosti vektora pohybu získaného z vyššej úrovne. K tomu musia byť vektor a súradnice obrazového prvku vhodne upravené, čo je v tomto prípade o 2 v každom rozmere. Tento proces pokračuje, až kým nie je prehľadávanie vykonané pri najvyššom rozlíšení referenčnej snímky. Pri každom nižšom rozlíšení je veľkosť vyšetřovanej oblasti (VO) zmenšená z typickej veľkosti, t.j. v 2. úrovni pri veľkosti bloku 4x4 op je VO 8x8 op a v 3. úrovni pre bloky 8x8 op je VO 20x20 op (namiesto VO 24x24 op, ktorá by bola použitá pri metóde úplného prehľadávania).

Predchádzajúce snímky: a) 1.úroveň, b) 2. úroveň, c) 3. úroveň



Aktuálne snímky: a) 1.úroveň, b) 2. úroveň, c) 3. úroveň

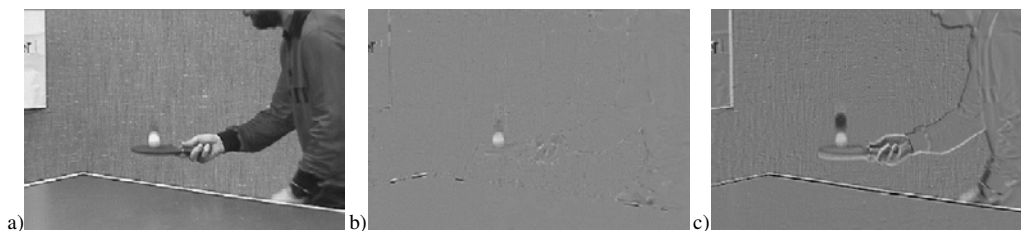


Obr. 2 3-úrovňová „pyramída“ predchádzajúcej a aktuálnej snímky z videosekvencie *stolny\_tenis*.

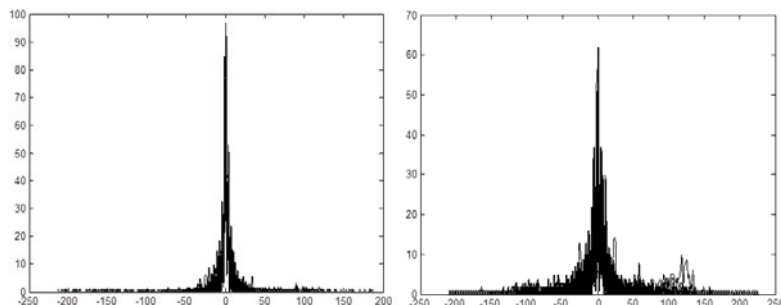
Ak bol nájdený vektor pohybu, potom nasleduje proces, v ktorom blok v aktuálnej snímke už môže byť zarovnaný s blokom v referenčnej snímke. Takto môžu byť nájdené zodpovedajúce diferencné op. Chybovú snímku po medzislímkovej predikcii s kompenzáciou pohybu získame týmto procesom zarovnania a rozdiel medzi blokom v aktuálnej snímke a blokom posunutým o vektor pohybu v referenčnej snímke.

Rekonštruovaná snímka je na obr.3a), chybové snímky po medzislímkovej predikcii s kompenzáciou pohybu a bez nej sú zobrazené na obr.3b) a obr.3c).

Histogramy predikčnej chyby s kompenzáciou pohybu a bez nej sú na obr.4 vľavo a vpravo. Vidíme, že histogram pohybovo kompenzovanej predikčnej chyby je omnoho užší, než ten bez kompenzácie pohybu a podobá sa typickému Laplaceovmu rozdeleniu pravdepodobnosti. V tabuľke 1 sú uvedené dosiahnuté hodnoty strednej kvadratickej predikčnej chyby bez a s kompenzáciou pohybu jednotlivých testovaných snímok videosekvencií. Vidíme, že stredná kvadratická hodnota predikčnej chyby pri použití pyramidového prehľadávania snímok je vo všetkých testovaných snímkach menšia, ako pri predikcii bez kompenzácie pohybu.



Obr. 3 a) Rekonštruovaná snímka, b) chybová snímka po medzisnímkovej predikcii s kompenzáciou pohybu, c) chybová snímka po medzisnímkovej predikcii bez kompenzácie pohybu.



Obr.4 Histogram predikčnej chyby s kompenzáciou pohybu (vľavo) a bez kompenzácie pohybu (vpravo).

Tab.1 Stredné kvadratické predikčné chyby

Snímky	Stredná kvadratická predikčná chyba bez pohybovej kompenzácie	Stredná kvadratická predikčná chyba s pohybovou kompenzáciou
Claire	58,885	12,704
stolny_tenis	657,092	97,401
Trevor	69,298	24,439
vláčik	1289,328	270,620
záhrada	1740,972	280,422

## V. ZÁVER

Článok pojednával o algoritme určovania vektora pohybu s prvkovou presnosťou pri medzisnímkovej predikcii obrazových prvkov v blokoch, ktorý bol odsimulovaný v programovom prostredí Matlab. Estimácia pohybu bola dosiahnutá metódou blokového prispôsobovania v priestorovej oblasti, označovanej aj ako suma absolútneho rozdielu. Opísaná bola technika pyramídového prehľadávania v troch úrovniach, pričom s každou vyššou úrovňou mala snímka menšie rozlíšenie aj veľkosť. Predložené bolo vyhodnotenie porovnania veľkosti strednej kvadratickej predikčnej chyby bez kompenzácie a s kompenzáciou pohybu pre skupinu testovaných videosekvencií.

	<p>Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj, pre projekt: <b>Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inováčné aplikácie s podporou znalostných technológií, kód ITMS: 26220220182</b>, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja. Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku / Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.</p>

PodĎakovanie patrí aj Ing. Tomášovi Cicaničovi, ktorý sa podieľal na riešení problematiky.

## LITERATÚRA

- [1] Mihalík, J.: Kódovanie obrazu vo videokomunikáciach. LČSOV FEI TU Košice, 2001.
- [2] Mihalík, J., Štefanišin, R.: Entropické kódovanie štandardných videokodekch. Acta Electrotechnica et informatica, Vol.5, No.2, 2005, s.43-50.
- [3] Hanzo, L., Cherriman, P., Streit, J.: Video Compression and Communications: From Basics to H.261, H.263, H.264, MPEG2, MPEG4 for DVB and HSDPA –style adaptive turbo-tranceivers. 2<sup>nd</sup> Ed., John Wiley & Sons, Ltd. 2007 [online]: <[http://videocodec.info/books/video\\_compression\\_and\\_communications\(Hanzo\).pdf](http://videocodec.info/books/video_compression_and_communications(Hanzo).pdf)>.
- [4] Thyagarajan, K.S.: Still Image and Video Compression with Matlab, John Wiley & Sons, Inc. Publication, 2011 [online]: <[http://pdf.th7.cn/down/files/1312/still\\_image\\_and\\_video\\_compression\\_with\\_matlab.pdf](http://pdf.th7.cn/down/files/1312/still_image_and_video_compression_with_matlab.pdf)>.
- [5] Mihalík, J.: Štandardný videokodek H.263 a jeho porovnanie s H.261. Slaboproudý obzor, roč. 60, č.1, 2003.

# Analýza RTG obrazov spájky pod výkonovým čipom

*Ondrej KOVÁČ*

Department of Technologies in Electronics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics,  
Technical University of Košice, Slovak Republic

ondrej.kovac@tuke.sk

**Abstrakt** — V príspevku bude analyzovaná problematika automatickej detekcie dutín v spájke pomocou vyhodnocovania RTG obrazov. V článku sa budeme zaoberať problematikou automatickej lokalizácie spájky pod čipom v RTG obraze. Tiež bude analyzovaná problematika nerovnomernej expozície snímky. Na základe týchto analýz bude navrhnutý systém pre detekciu dutín v spájke. Tento systém je založený na prahovaní energeticke normovaných obrazov. Normovanie je vykonávané po blokoch, čím sa eliminujú problémy vznikajúce v dôsledku nerovnomernej expozície.

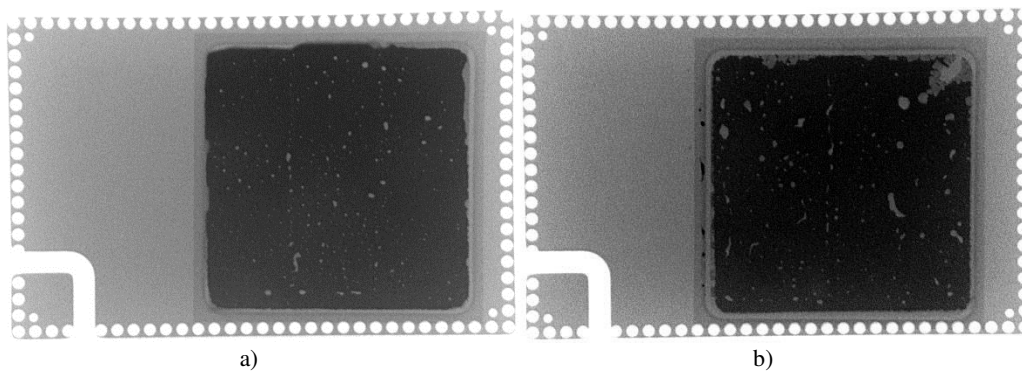
**Kľúčové slová** — RTG, spájka, dutiny, korelácia, prahovanie, segmentácia

## I. ÚVOD

Techniky spracovania obrazu [1] sú široko nasadzované nielen v oblasti multimediálneho obsahu, ale aj v oblastiach merania, kartografie, priemyslu a procesoch výroby. V technologickom procese osadzovanie dosák plošných spojov (DPS) sú techniky spracovania obrazov dôležité napríklad pri automatickej inšpekcii správneho umiestnenia súčiastky [2]. Pre kontrolu kvality výroby stačí osadzovanú DPS snímať kamerou s vysokým rozlíšením. V oblasti vyhodnocovania kvality výroby a osadzovania DPS je dôležité tiež vyhodnotiť samotné prevedenie spájkovaného spoja. Na toto je možné využiť deštrukčné metódy, ako je metóda výbrusu alebo aj nedeštrukčné metódy, ako je snímkovanie pomocou ultrazvuku či pomocou CT prístrojov. Bežne sa však vyhodnocujú röntgenové (RTG) snímky spoja. Tieto snímky však nie sú vždy ideálne vyhotovené a v procese výroby nie je vždy dostatok času na opakovanie snímkovania. Preto častokrát je nutné vyhodnotenie kvality spojov vykonať ručne, na to vyškoleným pracovníkom. V prípade, že je požiadavka na automatické vyhodnotenie kvality spoja, je nevyhnutné RTG snímky predspracovať. V nasledujúcich kapitolách budú analyzované najbežnejšie problémy resp. nedostatky RTG záberov a tiež budú analyzované metódy, ako tieto nedostatky odstrániť, alebo aspoň v priateľenej miere potlačiť. V závere príspevku bude navrhnutý systém pre automatickú detekciu dutín – voidov v spájke [3, 4, 5].

## II. VYLEPŠOVANIE RTG OBRAZOV

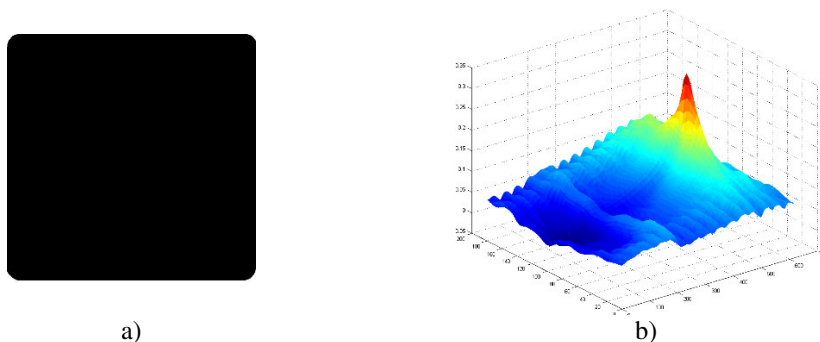
Ako už bolo uvedené vyššie, RTG obrazy nie sú vždy získané za optimálnych podmienok. Tieto obrazy častokrát vykazujú značné zaťaženie šumom [6], sú nerovnomerne exponované [7] alebo sú preexponované. Pre analýzu spoja nie je potrebné analyzovať celú snímku DPS. Stačí ak z celej snímky bude vyselektovaná len tá časť, ktorá obsahuje spoj pod čipom. Na lokalizáciu čipu je možné použiť primitívnu metódu prahovania obrazu, alebo je tiež možné vyhľadávanie uskutočniť na základe korelácie. Pokročilejšou metódou je aplikácia niektorého priestorovo nemenného algoritmu napríklad SIFT [8] (Space Invariant Feature Transform), no vo výrobe je zvyčajne systém, čo sa týka škály, nastavený vždy rovnako a preto nie je potrebné zavádzať takto komplikované metódy. Snímky sú takmer vždy zaťažené aditívnym šumom. Tento šum je možné potlačiť dolnopriepusným či mediánovým filtrom, alebo je tiež možné nasadiť odšumovanie využívajúce diskretnú waveletovú transformáciu (DWT) [9]. Častým problémom je aj nerovnomerné ožiarenie snímkovanej vzorky. Tento problém značne komplikuje napríklad vyhľadávanie chýb v spájke. Chyby v spájke sa najčastejšie vyhodnocujú pomocou prahovania. V prípade nerovnomerne exponovaného záberu nie je možné nájsť optimálnu hodnotu prahu. Na nasledujúcom obr.1 sú zobrazené RTG snímky substrátu a spájky pod čipom, ktoré sú zaťažené vyššie uvedenými chybami.



a) b)  
 Obr. 1 RTG obraz substrátu a spájky pod výkonovým čipom

#### A. Lokalizácia spoja pod čipom

Ako je zrejmé z obr. 1, podstatná časť snímky je len tá, ktorá zobrazuje spoj pod výkonovým čipom. Lokalizáciu tohto spoja je možné zabezpečiť ručne, napríklad výrezom regiónu, alebo je možné použiť nejakú automatickú metódu. V navrhnutom systéme budeme uvažovať metódu založenú na dvojrozszernej (2D) korelácii. Keďže predpokladaný tvar spájky je známy, nie je problém vytvoriť binárnu šablónu, z ktorej posunutými verziami cez obraz bude vykonaná 2D korelácia. Táto šablóna je zobrazená na obr.2 (a) a výsledok korelácie medzi touto šablónou a RTG obrazom na obr. 1 (a) je zobrazený na obr. 2 (b).



a) b)  
 Obr. 2 a) Šablóna pre lokalizáciu spájky v RTG. obraze a b) výsledok korelácie zobrazený v 3D grafe

Z obr.2 (b) je zrejmé, že bod  $P = (u,v)$ , kde korelácia  $r_{u,v}$  je najvyššia (červený pík), predstavuje súradnice ľavého horného rohu spájky. Hodnota korelácie je vypočítaná pomocou vzťahu (1).

$$r_{u,v} = \frac{\sum_i \sum_j (X_{u+i,v+j} - \mu_X)(Y_{i,j} - \mu_Y)}{\sqrt{(\sum_i \sum_j (X_{u+i,v+j} - \mu_X))^2 (\sum_i \sum_j (Y_{i,j} - \mu_Y))^2}} \quad (1)$$

kde  $X$  je analyzovaný obraz,  $Y$  je obraz šablóny,  $\mu_x$  a  $\mu_y$  sú stredné hodnoty týchto obrazov.

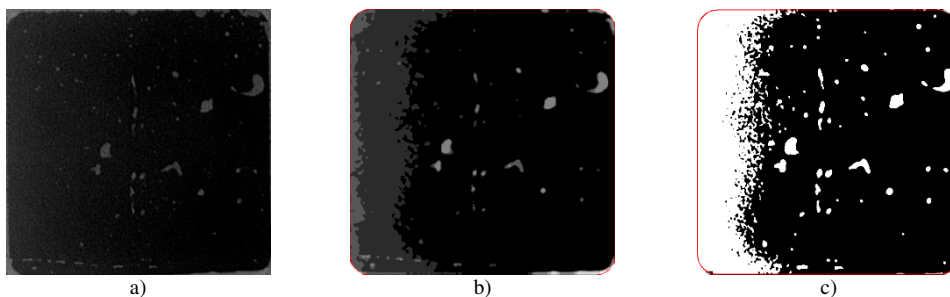
Vzhľadom k tomu, že RTG obrazy spojov väčšinou majú vysoké rozlíšenie, tak výpočet korelácie by mohol značne spomaľovať analýzu kvality spoja. Preto je vhodné tieto obrazy pred samotným výpočtom korelácie decimovať vhodným faktorom. Výsledná hodnota súradníc je potom daná súčinom získanej hodnoty súradníc bodu  $P$  a decimálneho faktoru.

#### B. Redukcia šumu

Existuje množstvo techník na potlačenie šumu. Najčastejšie sa stretávame s filtráciou obrazu. Pre odstránenie šumu sa používa dolnopriepustný filter (DP). Môže byť použitý FIR alebo aj IIR filter.

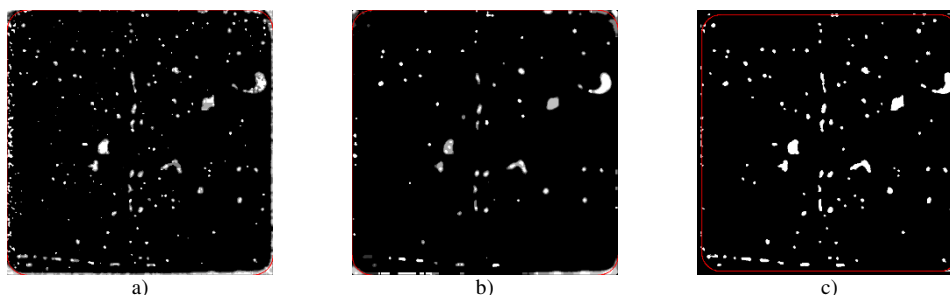
#### C. Energetické normovanie

Ako bolo uvedené vyššie, snímky získané pri nerovnomernom ožiarení nie je možné analyzovať ako celok. Na obr. 3(a) je zobrazený typický príklad RTG nerovnomerne exponovanej snímky. Na obr. 3(b) je tento obraz energeticky normovaný a kvantovaný a na obr.3(c) je výsledný binárny obraz získaný prahovaním. Prahovanie, ako aj energetické normovanie bude vysvetlené v ďalšej časti príspevku.



Obr. 3 RTG- snímka a) nerovnomerne exponovaného spoja pod čipom, b) energeticky normovaná ako celok, c) binárny obraz získaný prahovaním tejto snímky

Je zrejme, že z binárneho obrazu na obr. 3(c) nie je možné analyzovať početnosť a rozloženie dutín v spájke. Tento problém je možné odstrániť segmentáciou obrazu na bloky a energetické normovanie vykonať v rámci týchto blokov. Energeticky normovaný a kvantovaný obraz z obr. 3(a) potom pre veľkosť bloku 16x16 pix. bude taký, ako je na obr. 4(a) a pre veľkosť bloku 64x64 pix. bude ako je na obr. 4(b). Práhaním týchto obrazov sú získané binárne obrázky, ktoré sú následne zlúčené do jedného binárneho obrazu na obr. 4(c).



Obr. 4 Po blokoch energeticky normovaná RTG snímka s rozmerom bloku a) 16x16 pix, b) 64x64 pix, c) kombinovaný binárny obraz

Je všeobecne známe, že obrázky sú vzhľadom na podmienky, pri ktorých boli získané, rôzne exponované. Preto je nevyhnutné obrázky pred ďalšou analýzou energeticky normovať [10]. Normovaním je dosiahnuté to, že analyzované obrázky budú z rovnakého rozsahu energie. Z predchádzajúcej podkapitoly vyplýva, že vstupné obrázky, ktoré nie sú rovnomerne ožiarené, je výhodnejšie spracovávať po blokoch. Normovanie je dosiahnuté pomocou vzťahu (2) aplikovaného na jednotlivé bloky s rozmerom M x N pixelov.

$$\tilde{x}_{u,v} = \left\lfloor \frac{x_{u,v} - E(x)}{\sigma(x)} \right\rfloor \quad (2)$$

kde  $\tilde{x}_{u,v}$  je energeticky normovaná hodnota pixelu  $x_{u,v}$ ,  $E(x)$  a  $\sigma(x)$  predstavujú strednú hodnotu a disperziu analyzovaného bloku. Strednú hodnotu a disperziu je možné vypočítať pomocou vzťahov (3) a (4).

$$E(x) = \frac{1}{NM} \sum_{u=1}^N \sum_{v=1}^M x_{i,j} \quad (3)$$

$$\sigma(x) = \sqrt{\frac{1}{NM} \sum_{u=1}^N \sum_{v=1}^M (x_{u,v} - E(x))^2} \quad (4)$$

Experimentálne bolo zistené, že  $E(x)$  z čitateľa vzťahu (2) je vhodné určiť na základe vzťahu (3) aplikovaného v rámci bloku, zatiaľ čo menovateľ vzťahu (2) je vhodné určiť na základe celého obrazu. Ďalej je zrejme, že prvkom, ktoré po normovaní nadobúdajú zápornú alebo nulovú hodnotu možno priradiť hodnotu 0.

#### A. Binarizácia

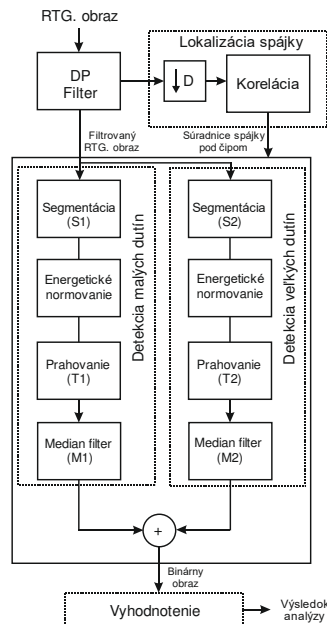
Posledným krokom detekcie chýb v spájke je prevod energeticky normovaných obrazov na binárny tvar [11]. Binarizácia pozostáva z prahovania energeticky normovaných obrazov tak, že pixelom ktoré presahujú vhodne zvolenú prahovú úroveň je priradená hodnota logickej 1 a ostatným pixelom je priradená hodnota logickej 0. Toto je možné zapísať pomocou vzťahu (5).

$$x_b = \begin{cases} 0, & x_p < t \\ 1, & x_p \geq t \end{cases} \quad (5)$$

Výsledný binárny obraz je ďalej filtrovaný mediánovým filtrom [12], pomocou ktorého sú odstránené prejavy impulzného šumu. Taktiež sú odstránené objekty, ktoré sú príliš malé a teda predstavujú chybnú detekciu, alebo to sú dutiny so zanedbateľnou veľkosťou.

### III. VÝSLEDNÝ NAVRHNUTÝ SYSTÉM

Na základe vyššie uvedených algoritmov bol navrhnutý systém pre vyhodnocovanie kvality spoja s ohľadom na detekciu miest bez spájky resp. dutín. Z blokovej schémy na obr. 5 je zrejmé, že vstupný RTG obraz je najprv filtrovaný DP filtrom a následne výsledok tejto filtrácie je spracovaný v dvoch blokoch. V prvom bloku sa na základe korelácie určí poloha čipu a druhý blok potom už analyzuje iba tú časť RTG snímky, ktorá zodpovedá spájke. Vyhodnocovanie prebieha v dvoch vetvách paralelne. Vetvy sa líšia len vo veľkosti spracovávaných blokov a v nastaveniach parametrov pre prahovania a filtrácie. Výsledné binárne obrázky sú zlúčené do jedného. Z tohto obrazu je potom možné určiť početnosť, rozmiestnenie a veľkosť dutín v spájke.



Obr. 5 Bloková schéma navrhnutého systému pre automatickú detekciu a vyhodnocovanie dutín v spájke

### IV. ZÁVER

V príspevku bola analyzovaná problematika automatickej detekcie dutín v spájke pod výkonovým čipom. Táto detekcia je dosiahnutá za pomoci techník spracovania obrazov aplikovaných na RTG obrázky spojov. V práci boli analyzované niektoré bežné problémy, ktoré sa pri spracovaní RTG obrazov vyskytujú. Na základe tejto analýzy bol navrhnutý koncept systému pre automatickú detekciu dutín v spájkovaného spoja medzi substrátom a čipom výkonovej elektroniky z RTG snímky tohto spoja.

### LITERATÚRA

- [1] I. Pitas, Digital image processing algorithms and applications, John Wiley & Sons, 2000.
- [2] L. P. Khoo a T. K. Ng, „A genetic algorithm-based planning system for PCB component placement,“ *International Journal of Production Economics*, zv. 54, 1. vyd.3, pp. 321-332, 1998.
- [3] L. Biswal, A. Krishna a D. Sprunger, „Effect of solder voids on thermal performance of a high power electronic module,“ rev. *Electronic Packaging Technology Conference 2005*, 2005.
- [4] S. H. Tran, L. Dupont a Z. Khatir, „Solder void position and size effects on electro thermal behaviour of MOSFET transistors in forward bias conditions,“ *Microelectronics Reliability*, zv. 54, 1. vyd.9, pp. 1921-1926, 2014.
- [5] L. C. Otiaba, M. I. Okereke a R. S. Bhatti, „Numerical assessment of the effect of void morphology on thermo-mechanical performance of solder thermal interface material,“ *Applied Thermal Engineering*, zv. 64, 1. vyd.1, 2014.
- [6] J. Walton a N. Fairley, „Noise reduction in X-ray photoelectron spectromicroscopy by a singular value decomposition sorting procedure,“ *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*, zv. 148, 1. vyd.1, pp. 29-40, 2005.
- [7] B. Chalker, D. Barnes a P. Isdale, „Calibration of x-ray densitometry for the measurement of coral skeletal density,“ *Coral Reefs*, zv. 4, 1. vyd.2, pp. 95-100, 1985.
- [8] P. Moreno, A. Bernardino a J. Santos-Victor, „Improving the SIFT descriptor with smooth derivative filters,“ *Pattern Recognition Letters*, zv. 30, 1. vyd.1, pp. 18-26, 2009.
- [9] M. Lang, H. Guo, J. E. Odegard, C. S. Burrus a R. O. Wells, „Noise reduction using an undecimated discrete wavelet transform,“ *EEE Signal Processing Letters*, zv. 3, 1. vyd.1, pp. 10-12, 1996.
- [10] J. Mihalík a O. Kováč, Číslkové spracovanie textúr ľudskej hlavy, Košice: LDIPV, FEI TU Košice, 2014.
- [11] M. Sezgin, „Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation,“ *Journal of Electronic imaging*, zv. 13, 1. vyd.1, pp. 146-168, 2004.
- [12] J. S. Lim, Two-Dimensional Signal and Image Processing, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1990.



# Protokolovo Závislé Evaluačné Metódy pre Rôzne Modely Pohybov v MANET

<sup>1</sup>Martin MATIS, <sup>1</sup>Lubomír DOBOŠ

<sup>1</sup> Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

[martin.matis@tuke.sk](mailto:martin.matis@tuke.sk)

**Abstrakt** — V tomto článku sú opísané a porovnané rôzne modely pohybu či už náhodné ale aj so sociálnymi vzťahov medzi mobilnými terminálmi. Schopnosť prenášať dáta cez mobilná ad-hoc sieť (MANET), kde sa mobilné terminály pohybujú pomocou rôznych modelov pohybu (náhodný a sociálny) bol overený aplikovaním štyroch smerovacích protokolov využiteľných v MANET sieťach. Ide o Dynamic Source Routing (DSR), Unlimited DSR (U-DSR), Social Based Opportunistic Routing (SBOR) and SBOR with social aspect (SBOR-sa). Niektorý z nich sú a iné nie sú sociálne závislé. Dané porovnanie bolo odsimulované a vyhodnotené v prostredí Matlab.

**Kľúčové slová** — mobilná ad-hoc sieť, modely pohybu, reaktívne smerovacie protokoly, oportunistické smerovacie protokoly

## I. ÚVOD

Komunikácia v MANET sieťach [1] je zabezpečovaná smerovacími protokolmi. Tie sú volené podľa toho, o aký typ správy ide, aká je priorita doručenia, aká je rýchlosť a hustota terminálov v mobilnej sieti, vzťahy medzi uzlami a podobne. Mnoho autorov využíva pre MANET sieť a smerovanie v nej náhodné modely pohybu [2] a aplikuje na rôzne smerovacie protokoly [3]. Tie prenášajú správu medzi zdrojovým uzlom Z a cieľovým uzlom C. Chceme porovnať použitie sociálneho a nesociálneho modelu pohybu [4] na tvorbu mobilnej siete. Budeme sledovať správanie sa prenosu správy, ak bude použitý sociálne nezávislý smerovací protokol DSR [5] a jeho modifikácia U-DSR rovnako aj pri použití sociálne závislý smerovací protokol SBOR [6] a jeho rozšírenie SBOR-sa. Na záver chceme porovnať výsledky každého smerovacieho protokolu a každého modelu pohybu na ktorom bol protokol spustený.

## II. MODEL POKYBOV

Mobilná ad-hoc sieť je tvorená mobilnými terminálmi (smartfónmi, tabletmi ...) ktoré sa pohybujú v istých geografických oblastiach na základe rôznych modeloch pohybu. Pre účely tohto článku a výskumu v ňom boli použité tri druhy modelov pohybu. Ako prvý bol použitý Random Walk náhodný model pohybu [2]. Ide základný model pohybu s náhodným smerom a rýchlosťou. Ako druhý bol použitý model pohybu Matis [6], ktorý je iným typom náhodného modelu pohybu s náhodnou orientáciou pohybu a limitovanou rýchlosťou z vopred daného intervalu rýchlosti. Tretím modelom pohybu je SSBMM- sociálny model pohybu [4], ktorý vychádza z predpokladu, že mobilné terminály sú vlastnené ľuďmi, tí majú svoje zvyky počas dňa a tie sa počas týždňov opakujú.

## III. EVALUAČNÉ METÓDY PRE MODEL POKYBU

Na porovnanie a overenie modelov pohybu je možné použiť rôzne evaluačné metódy akými sú protokolovo závislé (priemerný počet prenosov, priemerné end-to-end (E2E) oneskorenie, priemerná priepustnosť, strata paketov a pod. ) a protokolovo nezávislé (stupeň priestorovej závislosti, stupeň časovej závislosti, relatívna rýchlosť a pod.). Tieto metódy a ich vyhodnotenie dokáže verifikovať, ktorý z použitých modelov pohybu je efektívnejší alebo do akej miery vznikajú sociálne väzby medzi uzlami [4]. Štyri smerovacie protokoly boli použité na verifikáciu protokolov závislých evaluačných metód.

### A. DSR

Štandardný reaktívny smerovací protokol DSR [5] je základný a efektívny protokol navrhnutý

pre použitie vo viac-preskokovej bezdrôtovej ad-hoc sieti. Pozostáva z viacerých mechanizmov, kde dva najzákladnejšie sú *Objavenie cesty* a *Udržanie cesty* medzi dvojicou uzlov Z a C. Limitácia protokolu je v obmedzení hľadania cesty medzi Z a C pre danú správu na 2 pokusy. Prvý počas procesu Objavenia cesty a druhý pokus v časti udržania komunikácie.

### B. U-DSR

Neobmedzený DSR (U-DSR) vychádza z protokolu DSR, no počet pokusov na nájdenie cesty nemá limitovaný. Preto je možné vždy a znova hľadať cestu medzi Z a C až pokiaľ nebudú všetky pakety v cieľi, alebo sa neukončí simulačný čas.

### C. SBOR

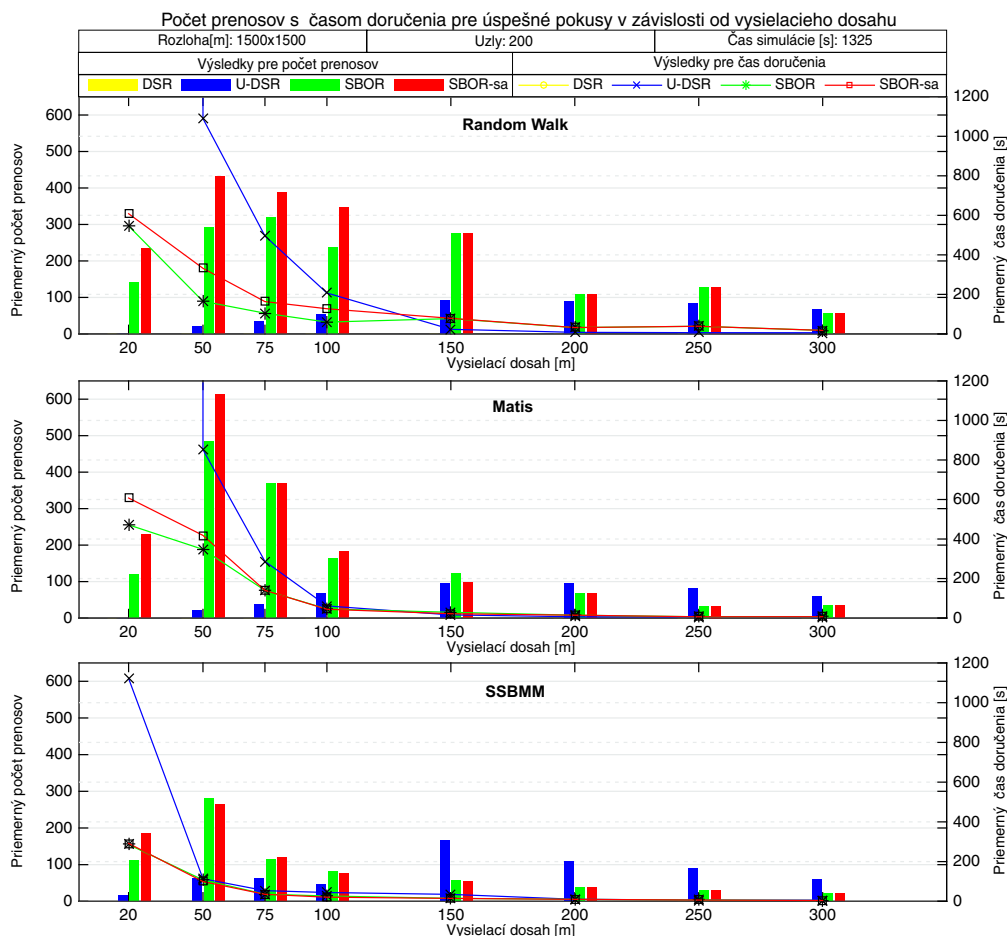
V MANET prostredí je možno odosielanie správ aj v oportunistickom zmysle, čo definuje siete tolerujúce oneskorenie. Pre účely tohto výskumu bol použitý SBOR (Social based Opportunistic Routing). Funguje na základe záplavového mechanizmu odosielania rozšíreného paketu na požiadavku odoslať správu susedom a voľby iba jedného, alebo žiadneho suseda na odoslanie kompletnej správy. Voľba susedného uzla ako ďalšieho skoku v komunikácii prebieha na základe pravdepodobnosti doručenia, ktorá sa ráta z histórie kontaktov medzi uzlami. SBOR je vhodným riešením pre uzly zo sociálnymi väzbami a pre situácie, kde nie je možné vybudovať E2E cestu.

### D. SBOR-sa

Je totožný smerovací protokol vo filozofii smerovania ako SBOR, ale jeho hlavný rozdiel je v rátaní pravdepodobnosti doručenia, kde sa zohľadňuje príslušnosť jednotlivých uzlov, teda ich pôvod a záujmové skupiny.

## IV. SIMULÁCIE A VÝSLEDKY

V tejto práci sú popísané dva hlavné výsledky pre tri modely pohybov (Random Walk, Matis and SSBMM), a štyri smerovacie protokoly (DSR, U-DSR, SBOR and SBOR-sa).



Obr. 1 Priemerný počet prenosov pre štyri smerovacie metódy (DSR, U-DSR, SBOR, SBOR-sa) aplikované na tri modely mobility (Random Walk, Matis, SSBMM) s časom doručenia pre iba úspešné pokusy

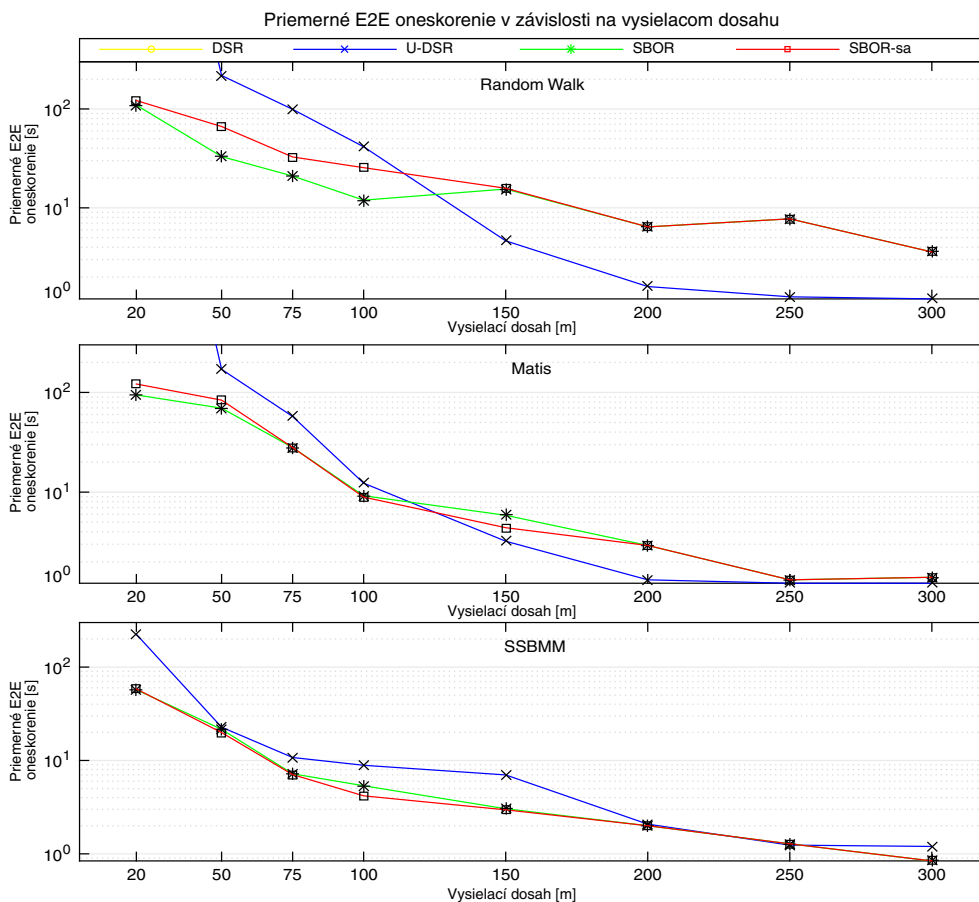
### A. Priemerný počet prenosov

Výsledok na Obr. 1 znázorňuje počet prenosov pre úspešné doručenia správ na ľavej osi. Pravá os reprezentuje priemerný čas doručenia pre úspešne doručené správy. Graf je v závislosti od vysielačieho dosahu.

DSR smerovací protokol nikdy nedosiahol úplný prenos správy. Použitím U-DSR, ktorý funguje bez sociálnych väzieb medzi uzlami, boli dosiahnuté lepšie výsledky oproti DSR, keďže U-DSR dokáže neustále hľadať cesty medzi Z a C. Výsledky reaktívnych protokolov DSR a U-DSR boli podobné pre náhodne modely pohybu, no pri aplikovaní na SSBMM model pohybu dosiahli vyšší počet prenosov, ale nižší priemerný čas doručenia.

SBOR protokol funguje na základe sociálnych vzťahov, teda informácií z histórie kontaktov. Pri použití niektorého z náhodných pohybov p bol počet prenosov vyšší, ako pri použití sociálneho modelu pohybu. Bolo to spôsobené tým, že mobilné terminály sa pri náhodných pohyboch nepohybovali podľa nejakého sociálneho vzoru pohybu a správy na základe pravdepodobnosti doručovania boli odosielané tým nesprávnym uzlom. Preto bolo pre sociálne rozhodovanie použitie náhodných modelov pohybu mátauce.

SBOR-sa dosiahol horšie výsledky ako SBOR pre náhodné modely pohybu, čo bolo očakávané, pretože sociálny aspekt degradoval rozhodnutia na prenos. Naopak pri sociálnom pohybe boli identické popri prípade mierne zlepšené výsledky.



Obr. 2 Priemerné E2E oneskorenie pre štyri smerovacie metódy (DSR, U-DSR, SBOR, SBOR-sa) aplikované na tri modely mobility (Random Walk, Matis, SSBMM) v závislosti na vysielačom dosahu iba pre úspešné pokusy

### B. Priemerné E2E oneskorenie

Druhý výsledok na Obr. 2 znázorňuje end-to-end (E2E) oneskorenie úspešných pokusov, ktoré sú závislé na rádiovom dosahu. Výsledok zobrazuje štyri smerovacie protokoly (DSR, U-DSR, SBOR a SBOR-sa) aplikované na tri modely pohybu (Random Walk, Matis a SSBMM) použiteľné v MANET prostredí. DSR dosiahol nekonečné E2E oneskorenie, pretože nikdy nebolo úplne úspešné. U-DSR dosiahol nižšie E2E oneskorenie ako SBOR a SBOR-sa. Ale sociálne smerovacie metódy boli úspešnejšie pri menšom rádiovom dosahu ako U-DSR. Následne keď pravdepodobnosť doručenia bola prispôbena pomocou sociálneho aspektu pre SBOR-sa protokol, priemerné E2E oneskorenie dosiahlo vyššie hodnoty u náhodných modeloch pohybu a nižšie pri sociálnom.

## V. ZHRNUTIE A BUDÚCA PRÁCA

V tomto článku boli porovnané rôzne modely mobility na ktoré boli aplikované štyri smerovacie protokoly, sociálne závislé a nezávislé. Prenos správy bol najefektívnejší v prípade, kedy sa aplikoval sociálny smerovací protokol na sociálny model pohybu. V budúcnosti sa chcem zamerať na viaceré sociálne modely pohybov.

## VI. POĎAKOVANIE

Táto práca vznikla v spolupráci Ministerstva školstva Slovenskej republiky pod výskumom VEGA 1/0075/15 a podpory COST akcie CA15127 ("Resilient communication services protecting enduser applications from disaster-based failures – RECODIS").

## REFERENCIE

- [1] M. CONTI; S. GIORDANO. Mobile ad hoc networking: milestones, challenges, and new research directions. *IEEE Communications Magazine*, 2014, 52.1: 85-96.
- [2] T. CAMP; J. BOLENG; V. DAVIES. A survey of mobility models for ad hoc network research. *Wireless communications and mobile computing*, 2002, 2.5: 483-502.
- [3] A. HINDS, et al. A review of routing protocols for mobile ad-hoc networks (manet). *International journal of information and education technology*, 2013, 3.1: 1.
- [4] D. Hrabčák: "Master thesis: Mobility models of the social behaviour for hybrid MANET-DTN (in slovak: Modely pohybu založené na sociálnom správaní pre hybridné MANET – DTN siete)." TU-FEI, Košice 2016.
- [5] D. JOHNSON; Y. HU; D. MALTZ. The dynamic source routing protocol (DSR) for mobile ad hoc networks for IPv4. 2007.
- [6] M. Matis, L. Doboš and J. Papaj. "An Enhanced Hybrid Social Based Routing Algorithm for MANET-DTN." *Mobile Information Systems* 2016.

# Heat Map as Interactive Data Visualisation for Various Information Systems

*František BABIČ, Katarína ORAVCOVÁ*

Department of Cybernetics and Artificial Intelligence, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

{frantisek.babic, katarina.oravcova}@tuke.sk

**Abstract** —The paper describes a design and implementation of a software module for data visualisation as a heat map. This module was implemented through the innovative technologies for web application front-end like Angular and TypeScript. It is possible to integrate it into different information systems after meeting some requirements, e.g. the data from the database are available in JSON format. Our aim was to provide interactive data visualisation, which changes real-time based on user's expectations. We tested our prototype on a sample characterizing the data from healthcare information system.

**Keywords:** exploratory data analysis, data visualization, Angular, TypeScript

## I. INTRODUCTION

With the gradual progress of the information and communication technologies (ICT), the data visualisation became more and more important. The new IKT have provided new possibilities for working with data. They enabled not only an automatic collection and processing as well as saving the instantly increasing amount of data. They provided new method and algorithms to analyse or visualize this type of data. The ICT have been incorporated over time into the normal life of many people and supported the utilization of the more and more generated data in different sectors like industry, healthcare, social networks, utilities, etc.

A large amount of data needs to be constantly processed and analysed because it contains numerous important information possible extracted by different methods. Exactly, an effective data presentation and visualisation has great potential in the areas mentioned above. The extraction itself is no longer task for professional data analysts, but also for people in contact with data in their daily work.

Exploratory data analysis (EDA) is an approach to extract the main characteristics from data, often with visual methods [1]. A founder John Tukey promoted EDA as “Procedures for analysing data, techniques for interpreting the results of such procedures, ways of planning the gathering of data to make its analysis easier, more precise or more accurate, and all the machinery and results of (mathematical) statistics, which apply to analysing data” [2]. Visual analytics is the science of analytical reasoning supported by interactive visual interfaces [3]. In general, visual analytics has the capability to transform many of relevant daily work processes and make them both more effective and efficient [4].

## II. DATA VISUALIZATION

Visualization is a field devoted to the processing and presentation of data or arbitrary information from different domains. Data visualization is a method for expressing data in graphical form [12]. The advantage of data visualization is an ability to collect huge amounts of data into a simple graph. Typical visual forms include a bar, a chart or a pie chart. These visual forms of information are easier to understand such a table containing numeric data.

Information visualization works mainly with numeric or symbolic data despite other categories of visualization related to the reflection of real physical objects [13]. In this process, we propose a tool to access the data for presentation in the best visual form meeting the user's expectations. One of the most important advantages is an ability to identify patterns, trends, and other hidden information from the visualisation. The main source is typically a large amount of statistical data, measured quantitative data as well as other objective facts.

The process of creating informational visualization contains data processing and necessary knowledge of different areas, e.g. informatics, math statistics, and data analytics. The data processing contains data gathering, understanding, and preparing for analytical purposes. The second step representing visualization of extracted information requires aesthetic feeling and

ability to present data in a form, which is appropriate to the human. Based on it some hidden or possible useful knowledge are extracted.

Ben Fry [5] defines a model for the visualization process containing following seven steps:

1. Acquire – represents a process of gathering data related to specified task from different sources. Some typical sources are relation databases or data streams from utilities or social networks.
2. Parse – focus on converting a raw stream of data into useful portions of content, i.e. unification of the data structure. Typically, data are available in form of two-dimensional table. The parsing represents a transformation of data into known structure manipulated by the visualisation software.
3. Filter – covers removing of unnecessary, missing or duplicate data and preparation of the relevant data subsets based on user's expectations.
4. Mine – covers an application of exploration analysis or machinery learning methods to identify possible hidden patterns or trends in data.
5. Represent – covers a process considering representation in the most basic forms. It contains various data presentation techniques, from the simplest to the more complex, e.g. scatter plot, line graph, bar graph, box plot, physical map, heat map, matrix, tree, histogram, dendogram, star plot, survey plot, rubber sheet, tree map, visual diff.
6. Refine – aims to modify and enhance basic data representation to better understand it and create more eye-catching data visualization. It is not sufficient to simply assign a representation to a data set that it fits. It is important to consider some visual features for differentiation like a size, weight, colour, placement,
7. Interact – involve methods to ensure an effective Human-Computer Interaction, i.e. how the data will interact with itself on-screen and how users will interact with the data.

In our work, we used this model to design a new supporting module for different information systems visualizing data available in the predefined JSON format.

### III. TECHNOLOGIES AND METHODS

In past few years, the ICT community has been putting stress on usability and design of the methods to process and visualize the data collected within various information systems. The emphasis is laying on the stable, fast, intuitive and user-friendly interface. It is important to select suitable technologies for ensuring the module will work fast, correctly and in an intuitive, simple and user-friendly way. Every contemporary technology used today for development of web applications front-end has its advantages and disadvantages. In the selection process, we have to consider also the skills and experiences of the developers. We selected two innovative technologies TypeScript and framework Angular.

“TypeScript is a free open-source programming language developed and maintained by Microsoft for large-scale JavaScript applications.” (MSDN). Angular is a TypeScript-based open-source front-end web application platform led by the Angular Team at Google. Google published its initial release in September 2016 and the stable release in March 2017. Angular is rewritten AngularJS framework with some new unique features like modularity, simpler expression syntax, a hierarchy of components, easier mobile development, etc. Its main advantage is a possibility to create a modular data visualization structure with two-way data bindings for interactivity. The two-way binding is responsible for the synchronization between data updates and visualization updates; we do not have to handle data synchronization.

A heat map is a graphical representation of data where the individual values contained in a matrix are represented as colours [6]. We know different kinds of heat maps, like web heat maps used for displaying areas of a web page most frequently scanned by visitors. Their great advantage is a projection of the huge amount of data in a form, which is simple to understand and interpret. In our case, we used density function visualization, i.e. the heat map represents the density of dots in a map independently of the zoom and colour differentiated. The heat maps have an interesting potential in healthcare because of their ability to visualize a large volume of data in simple understandable and interpretable form accordance to the geographic context. Fig. 1 visualizes a heat map representing a preference of superior medical care in the USA from the side of foreign patients. We can see that the clinics close to the New York are strongly preferred from all having established special departments. Similar approach used authors to measure an effectiveness of the pharmaceutical companies. The heat maps cover geospatial analytics of pharmacy sales performance and pharmacy stocking [8]. We built our visualization on Google Maps and Google Charts. Google Maps offers basic functions like viewing classic cartographic or satellite map, zooming and moving around the map. Google Charts represent an interactive web service, which allows creating of different charts (bar, line, column, pie, etc.) from available data sources.

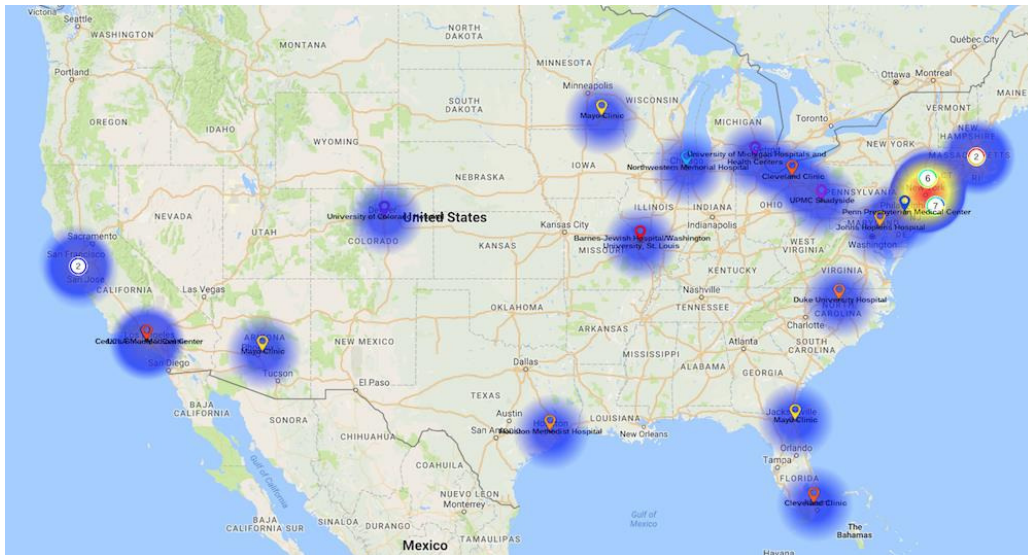


Fig. 1 An example of heat map [7].

JSON (JavaScript Object Notation) is a lightweight data-interchange format [9]. Nowadays, it represents a rapidly growing standard for transmission data between information systems or software components. In healthcare domain, Health Level 7 provides a framework with related standards for the exchange, integration, sharing, and retrieval of electronic health information [10]. It created a standard called Fast Healthcare Interoperability Resources (FHIR) describing data formats, elements and API for exchanging electronic health records. And the FHIR supports JSON format.

#### IV. DEVELOPMENT OF THE MODULE

In this chapter, we briefly present the whole development process containing design, implementation and testing phase.

##### A. Design

We aimed to design the supporting module for various information systems that collected many data but do not provide any suitable visualisation. We would have an interactive and user-friendly visualisation, so we choose the heat maps as suitable graphical form. This selection affects the possibilities to integrate our module with existing systems, i.e. stored data has to have the geographic context. Based on performed state of the art and extracted requirements, we defined a list of expected features:

- Simple user interface for an intuitive and simple manipulation with generated visualisations.
- Heat map visualisation according GPS coordinates within Google Map.
- Line charts visualisation for particular attributes within Google Charts.
- Heat map animation to evaluate a progress in time.
- Data filtration and automatic redrawing of the map and graph based on selected filters by users.

During the design phase, we used as a pilot example one healthcare information system. The data visualisation in tables is not clear enough and difficult to understand. The heat map offers better understanding not focused only on particular factor at this time but a possibility to consider the big picture and the progress in selected timeline. The data visualization in this area has a big potential because of a huge amount of produced and stored data containing important information for different processes of the health care. Using the right visualisation technique to access easily the data in real time can help and support the decisions.

The processed data has to be in JSON format. It can be loaded from external JSON file or directly through API (Application programming interface). The application logic is divided into several smaller units (Fig. 2). The logic class is responsible for processing data from API for front-end applications. The base element is App Component, which ensures the main application running. Smaller individual components are responsible for logically separate parts of the application:

- Map Component is responsible for displaying maps using Google Maps.
- Table Component is responsible for displaying table.
- Graph Component is responsible for displaying graphs using Google Charts.

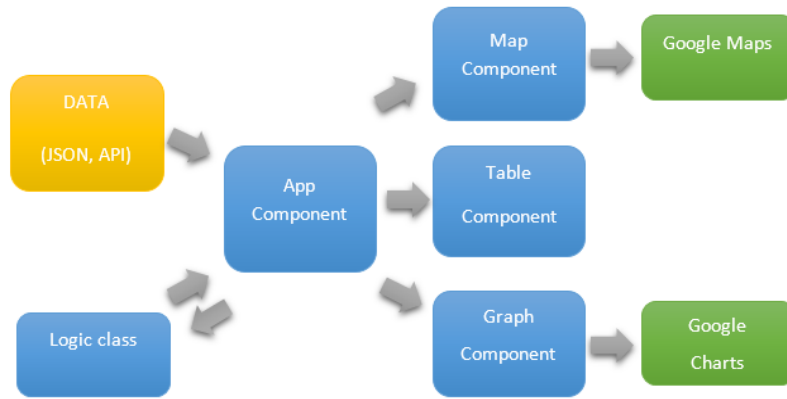


Fig. 2 Architecture proposal.

We designed the user interface to ensure an easily manipulation and understanding of generated visualisations (Fig. 3).

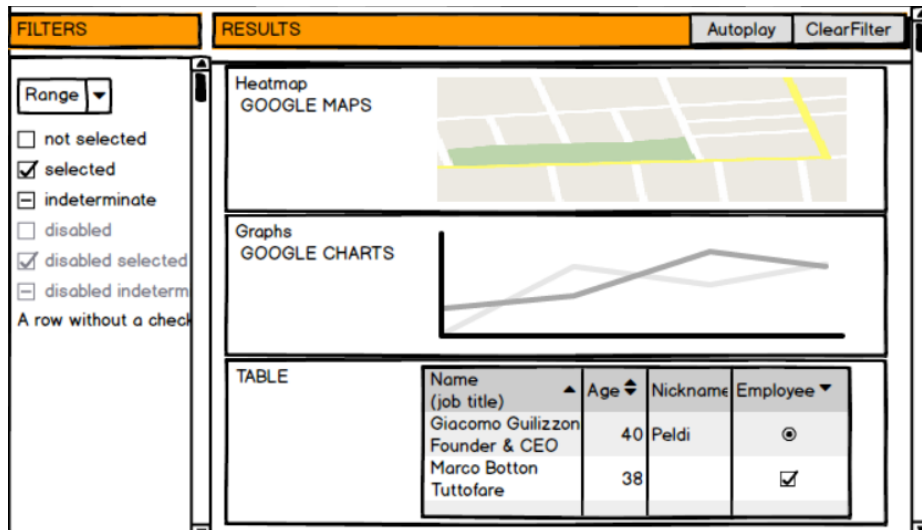


Fig. 3 Mock-up showing GUI proposal.

### B. Implementation

The implementation phase resulted into three prototypes; the final version is shown in Fig. 4. This example includes some testing data from information system mentioned above. The main part is the heat map visualizing data about the patient’s residence. The different colors label the relevant density; the highest is represented by red areas. It contains important information for e.g. optimization of the healthcare providers network. Based on animation feature, we can show a time progress of this situation based on selected starting and ending points. After pressing the play button, the animation for the selected year is automatically played. The animation is running not only on the map, but also interactively the area of graphs and tables is changing too.

The heat map’s implementation includes all basic features offered by the Google Maps. With zooming features, the heat map is interactively redrawing. Users can filter the displayed data with parameters in the left panel. The user can select a different time period or some attributes to change the visualized heat map based on his expectations. Under the map, the module visualizes some line charts representing time evolution of the selected attributes, e.g. patients, localities, medical examinations, doctors, etc. This set of attributes depends on the information system, in which the proposed module will be integrated. Each filter is represented by different colour and is also explained in the legend in the right part of the graph



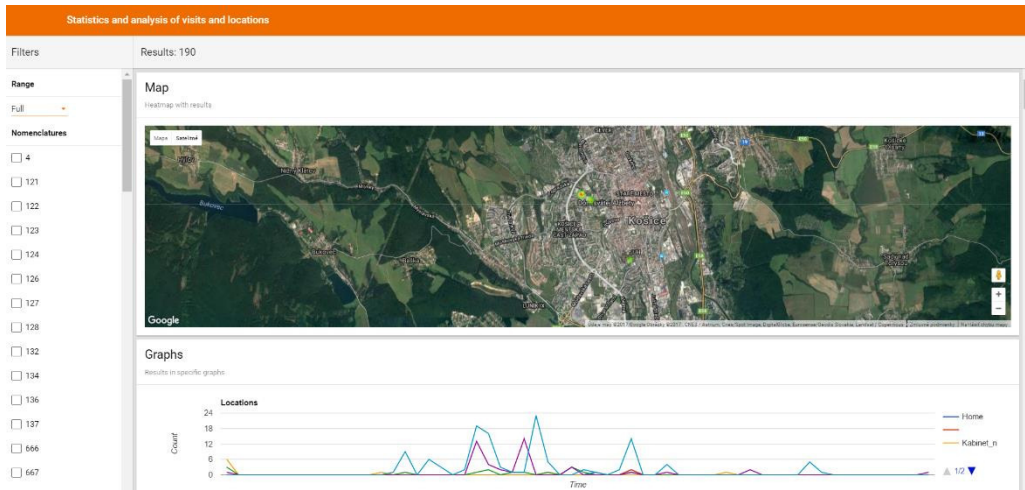


Fig. 4 Example of final visualization.

C. Testing

For testing, we chose manual black-box testing to evaluate that supporting module is working correctly in all possible situation. We present only some of performed testing scenarios (Tab.1).

Tab. 1 Example of testing

Test scenario	Test steps	Expected output	Is test successful?
Functionality test of an option <i>time horizon</i>	Click on an option of the <i>whole statistic</i>	View of total statistics	yes
	1. Click on option of <i>statistics by years</i> 2. Choose a year	View of selected year's statistics	yes
	1. Click on option of <i>statistics by months</i> 2. Select a month of the year	View of selected month's statistics	yes
Filter functionality check	Click on specific filter option	The data view of the filter in the relevant visualization	yes
	Select multiple options of a filter	The data view of the filter in the relevant visualization	yes
	Select of filter option to remove data of other filters with no common intersection	Remove filtered data with no common intersection	yes

V. CONCLUSION

Data visualization and visual analytics represent an important feature to understand data stored in various information systems. The typical example is a simple reporting function that extracts data in predefined table format. However, when the system collected and stored a large volume of data, this function is inadequate. We aimed in our work to design and implement software module offering the innovative visualization on the front-end of the web application. We choose the heat maps and Angular2 framework as a good combination to meet identified requirements with a potential for use in different areas. Our module manipulates the data available in JSON format and visualizes them in interactive and simple understandable way.

## ACKNOWLEDGMENT

The work presented in the paper is supported by the project implementation Centre of Information and Communication Technologies for Knowledge Systems (ITMS project code: 26220120020) supported by the Research & Development Operational Program funded by the ERDF.

## REFERENCES

- [1] F. Gorunescu, "Exploratory Data Analysis", in *Data Mining: Concepts, Models and Techniques*, Vol. 12, Springer, Intelligent Systems Reference Library, 2011.
- [2] J. W. Tukey, "Exploratory Data Analysis", Pearson, 1<sup>st</sup> edition, 1977.
- [3] J. Thomas, K. Cook, "Illuminating the Path: Research and Development Agenda for Visual Analytics", IEEE-Press, 2005.
- [4] D. A. Keim, F. Mansmann, J. Thomas, "Visual Analytics: How Much Visualization and How Much Analytics?", ACM SIGKDD Explorations Newsletter, Vol. 11, Issue 2, pp. 5-8, 2009.
- [5] B. Fry, "Computational Information Design", Massachusetts Institute of Technology, 2004.
- [6] B. Abu-Jamous, R. Fa, A. K. Nandi, "Integrative Cluster Analysis in Bioinformatics", Wiley, 1<sup>st</sup> edition, 2015.+
- [7] Medical Travelers Clamor For Luxe US Health Care: <http://www.pymnts.com/global-citizen/2017/medical-travelers-health-care/>
- [8] IntegriChain Launches New Visualizations Focused on Retail Pharmacy Effectiveness and Stocking for Collaborative Healthcare Channel Management: <http://www.integrichain.com/integrichain-launches-new-visualizations-focused-on-retail-pharmacy-effectiveness-and-stocking-for-collaborative-healthcare-channel-management/>
- [9] JSON: Introduction: [https://www.w3schools.com/js/js\\_json\\_intro.asp](https://www.w3schools.com/js/js_json_intro.asp)
- [10] HL7: <http://www.hl7.org/implement/standards/>
- [11] Fast Healthcare Interoperability Resources: <https://www.hl7.org/fhir/>
- [12] M. Friendly, "A Brief History of Data Visualization", *Handbook of Data Visualization*, Springer Handbooks of Computational Statistics, pp. 15-56, 2008.
- [13] C. Ware, "Information Visualization, Third Edition: Perception for Design (Interactive Technologies)", Morgan Kaufmann, 3<sup>rd</sup> edition, 2012.

# m-Learning s prvkami gamifikácie

František BABIČ, Stanislava REPKOVÁ

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Technická univerzita v Košiciach

frantisek.babic@tuke.sk, stanislava.repkova@student.tuke.sk

**Abstrakt** — M-Learning predstavuje proces prechodu tradičného vzdelávania na mobilné prostredníctvom využívania digitálneho výučbového obsahu a mobilných zariadení, ktorých penetrácia intenzívne stúpa. V našom prípade sme sa zamerali skôr na podporu tradičného spôsobu výučby prostredníctvom mobilnej aplikácie s prvkami gamifikácie. Gamifikácia je definovaná ako použitie herných prvkov v nehernom prostredí s cieľom zvýšiť angažovanosť študentov do výučbových aktivít a ponúknuť im dôležité vedomosti a praktické zručnosti kreatívnou a nie nudnou formou. Výsledkom je mobilná aplikácia poskytujúca lekcie a kvízové otázky pre študentov stredných odborných škôl a hotelových akadémií v oblasti someliérstva so zameraním na koňak. Testovanie v reálnom prostredí potvrdilo potenciál takejto formy výučby, ale zároveň odhalilo aké bariéry je nutné prekonať pri jej zavádzaní.

**Kľúčové slová** — m-Learning, gamifikácia,

## I. ÚVOD

Využívanie IKT vo vyučovaní je dlhodobý trend, pretože príchod počítačov a novodobých techník spôsobil v súčasnom vzdelávaní veľkú zmenu. No naskytá sa tu otázka, či sme pripravení na takúto zmenu vzdelávania prostredníctvom moderných technológií. Niektorí ľudia vidia v príchode IKT do výučby aj nevýhody. Najväčšou nevýhodou je nízka úroveň počítačovej gramotnosti u vyučujúcich pri používaní týchto zariadení. „Ulohou učiteľa je vzdelávať i vzdelávať sa, aby bol neustále „v obraze“, má byť žiakom a študentom „rovnocenným partnerom“ pri používaní týchto IKT zariadení.“ [1].

Keďže dnes sú smartfóny súčasťou nášho každodenného života, tak k nim už neodmysliteľne patria aj mobilné aplikácie. Proces vývoja mobilných zariadení ide neustále vpred, a čoskoro už bude náš smartfón slúžiť skoro na všetko. Či už budeme vedieť ovládať nejaké zariadenia v domácnosti na diaľku, čítať knihy v digitálnej podobe alebo možno aj pozerať televízne vysielanie. Preto je dôležité, aby sa aj študenti oboznamovali s možnosťami mobilných zariadení už na školách. Aj keď používanie mobilných zariadení na našich školách ešte nie je až tak jednoduché; napr. aj z dôvodu, že na mnohých školách sú mobilné zariadenia na vyučovaní zakázané. No mali by sme si uvedomiť, ako môžu mobilné zariadenia obohatiť vyučovací proces a samotné vzdelávanie. Podľa prieskumu<sup>1</sup> medzi študentmi na Univerzite v Centrálnnej Floride len 19% času stráveného prostredníctvom mobilných aplikácií venujú výučbe. Rebríčku dominujú sociálne siete (79%), počúvanie hudby (74%) alebo navigácia (57%). Takéto zistenia by mali motivovať školy a vyučujúcich zaviesť mobilné aplikácie do procesu vzdelávania a ukázať tak študentom efektívny spôsob využívania ich mobilných zariadení. To môže viesť študentov k tomu, aby takéto aplikácie používali aj vo svojom voľnom čase a netrúfili mnoho hodín na sociálnych sieťach. Čím viac budú mobilné aplikácie kreatívne, inovatívne a používateľsky prívetivé, tým si jednoduchšie a vo väčšom počte získajú študentov.

### A. M-Learning

Mobilné zariadenia samozrejme nikdy nenahradia tradičnú prezentačnú výučbu a ani vyučujúcich, no majú mnoho výhod. Motivovať študentov je niekedy náročné, no tu sa naskytá možnosť pre vyučujúcich zaujať aj takýchto študentov a to prostredníctvom mobilných aplikácií. Pre študentov je už atraktívne len to, že môžu na vyučovaní použiť svoj smartfón, ktorý majú vo väčšine času v škole zakázaný. Študenti si prostredníctvom mobilných aplikácií nemusia učiť len čítať, ale taktiež si môžu pozerať videá alebo počúvať nahrávky k danému učivu aj mimo vyučovania. Videá alebo nahrávky nemusia len počúvať. Možno väčším

<sup>1</sup> <http://er.educause.edu/articles/2015/6/students-mobile-learning-practices-in-higher-education-a-multiyear-study>

lákadlom pre nich by bolo spracovať tému do videa, akoby mali napísať dvojstranový sloh. : Pre vyučujúcich je jednoduchšia príprava na vyučovanie aj preto, že niektoré poznámky si študenti môžu spracovať v aplikácii sami. Vyhodnocovanie kvízov alebo testov cez mobilné aplikácie je automatické a vyučujúci si môže už len pozrieť výsledky. Takto získa viac času a môže sa venovať iným veciam. Využitím testov a skúšania v kvíze prostredníctvom mobilných aplikácií sa znižuje subjektivita vyučujúceho, ktorá sa nedá vylúčiť pri vyhodnocovaní vyučujúcim. Medzi ciele výučbového procesu patrí aj príprava študentov na budúce profesie. Práca s mobilnými zariadeniami nebude len súčasťou ich každodenného života, ale bude tiež v mnohých prípadoch súčasťou ich profesie. Vedieť vhodne používať mobilné zariadenia je dôležitou znalosťou v tomto modernom svete.

### B. Gamifikácia

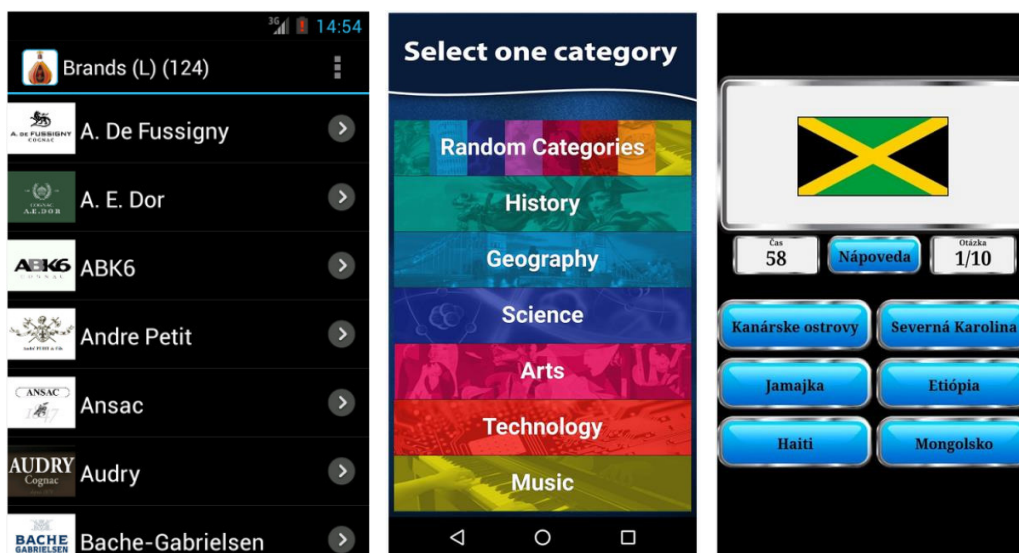
Slovo „gamifikácia“ je čoraz viac používané aj mimo sektoru počítačových hier. Gamifikácia je definovaná ako použitie herných prvkov v nehernom prostredí [2]. Pozostáva zo zbierania bodov, získavania odmiern, porovnávaní sa s ostatnými a postupu na vyššiu úroveň.

Dá sa povedať, že istý druh gamifikácie vo vzdelávaní už je. Napríklad, keď študenti píšú testy, dostávajú za to body a za ne známky. Tiež aj postupovanie do vyššieho ročníka môžeme brať ako postup na vyššiu úroveň. Ale motivácia študentov takýmto spôsobom asi nie je dostatočná. Využitím mobilných aplikácií vo vzdelávaní sa môže zmeniť pohľad študentov na vzdelávanie a zvýšiť ich záujem o seba samého ako študenta. Pri využívaní gamifikácie v takýchto aplikáciách študenti zapájajú aj svoje emócie. Keď sa im darí, majú zo svojich výsledkov radosť ale aj neúspech ich môže motivovať, aby si danú úlohu vyskúšali znova, a tým sa naučili niečo nové. Negatívnym aspektom môže byť nesprávna motivácia študentov, ktorí sa budú učiť len kvôli získaniu externej odmeny.

Projekty gamifikácie ponúkajú príležitosť experimentovať s pravidlami, emóciami a sociálnymi rolami [3]. Prostredníctvom bodov môžeme odmeniť činnosti, ktoré študent vykoná nad rámec svojich bežných povinností. Tým zvýšime motiváciu študentov k tomu, aby sa do učenia hlbšie zapájali a dokonca zmenili vnímanie samých seba ako študentov [4]. Hry navigujú študentov pri riešení úloh a stimulujú ich motiváciu prostredníctvom zvyšovania úrovne ich zložitosti [5].

### C. Prehľad existujúcich aplikácií

V rámci prieskumu existujúcich a porovnateľných aplikácií sme si stanovili niekoľko kritérií ako cena, obsah, testovacia funkcia alebo dostupné jazykové verzie. Všetky testované mobilné aplikácie sú určené pre operačný systém Android.



Obr. 1 Ukážky z používateľského prostredia v poradí Cognac Companion, Quiz of knowledge a Svetová geografia.

Cognac Companion ponúka kompletného koňakového sprievodcu pre ľudí, ktorí by sa chceli dozvedieť niečo viac o koňakoch, ale tiež aj pre nadšených zberateľov. Je zameraná skôr prezentáciu informácií o konkrétnych druhoch koňakov a neponúka možnosť otestovať si nadobudnuté vedomosti. Je dostupná iba v anglickom jazyku a v obchode Google Play za poplatok 3.95 €.

Quiz of knowledge umožňuje používateľovi overiť si svoje vedomosti asi z 8 dostupných okruhov, pričom po výbere okruhu zodpovedá na náhodne vybrané otázky. Neponúka lekcie, ktoré by si mohol používateľ najprv naštudovať; pri odpovedaní používateľovi beží časový limit; za správne odpovede sa mu pripočítavajú body a má k dispozícii 3 nesprávne odpovede. Aplikácia je dostupná zadarmo v Google Play a používateľ má možnosť si vybrať zo 6 jazykoch, pričom slovenčina nie je k dispozícii.

Svetová geografia predstavuje zemepisnú kvízovú hru, ktorá pomáha sa naučiť všetko o krajinách sveta - mapy, vlajky, hlavné mestá, obyvateľstvo, náboženstvo, jazyk, meny a veľa ďalšieho. Ponúka pre používateľov priestor pre naštudovanie si lekcii a následné otestovanie si svojich vedomostí v kvíze. Používateľ si môže vybrať, ktoré kontinenty chce mať vo svojom kvíze a počet otázok závisí od jeho úrovne. Pri spustení aplikácie si používateľ môže vybrať medzi 17 jazykmi, čo zvyšuje jej atraktivitu. Aplikácia je dostupná v Google Play zadarmo.

## II. ANALÝZA A NÁVRH VLASTNÉHO RIEŠENIA

### A. Cognac Embassy

Spoločnosť Cognac Embassy s.r.o. je slovenská spoločnosť. V roku 2011 ju založili spoločníci, ktorých fascinoval koňak, ako nápoj života s bohatou históriou. Dlhé roky sa zaoberajú zberom informácií o tomto nápoji a svoje vedomosti si nenechávajú len pre seba, ale prispievajú k výchove trhu, rozširovaniu vedomostí trhu s koňakom u výrobcov, dovozcov i spotrebiteľov. Táto spoločnosť ponúka školenia, kurzy, tréningy a akcie s prioritným zameraním na kategóriu koňak. Keďže chce stále napredovať a dostať sa čo najbližšie k svojim študentom, rozhodla, že svoje školenia obohatí o mobilnú formu, ktorá bude slúžiť nielen na testovanie vedomostí o koňaku, ale aj k získaniu nových.

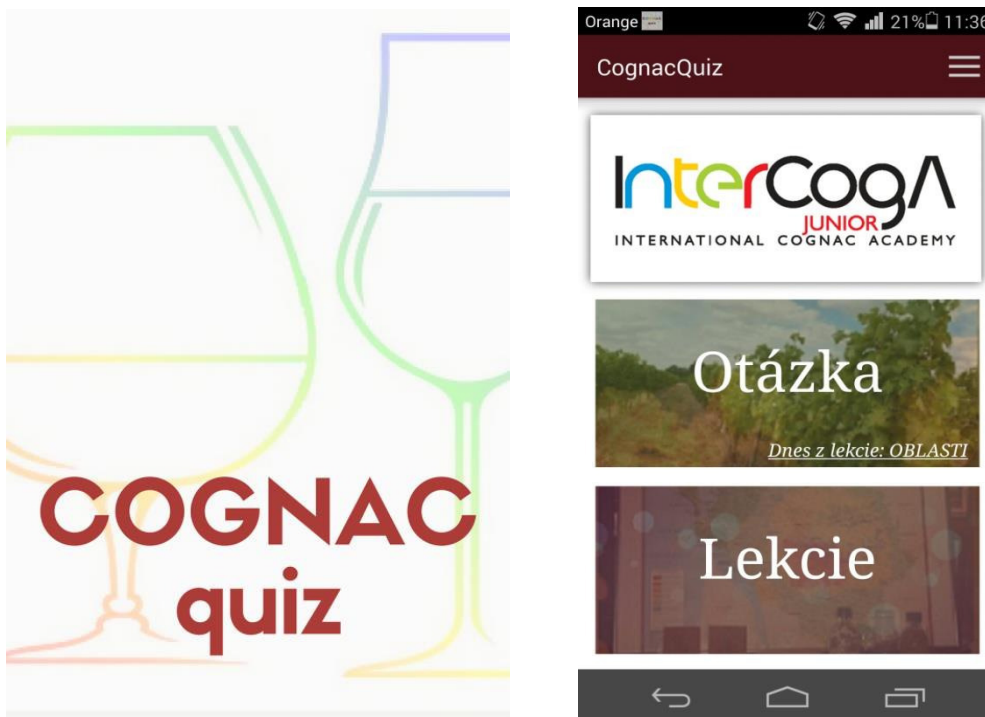
Zamerali sme sa hlavne na žiakov hotelových akadémií, keďže tieto sú primárne určené na prípravu do zamestnania v oblastiach ako kuchár, čašník a ním podobné. K tomu už neodmysliteľne patria aj schopnosti v príprave chutných nápojov a znalosti o rôznych druhoch nápojov. Aby sme týchto žiakov motivovali k aktivite nad rámec ich typických školských povinností, rozhodli sme sa poskytnúť im informácie a vedomosti o koňaku atraktívnou formou mobilného kvízu s prvkami gamifikácie.

### B. Návrh

Zoznam používateľských požiadaviek sme vytvorili na základe intenzívnej komunikácie so zástupcom spoločnosti. Prioritou bolo ponúknuť možnosť otestovať si svoje vedomosti z oblasti venovanej rôznym druhom koňaku, ich histórie a spôsobu výroby.

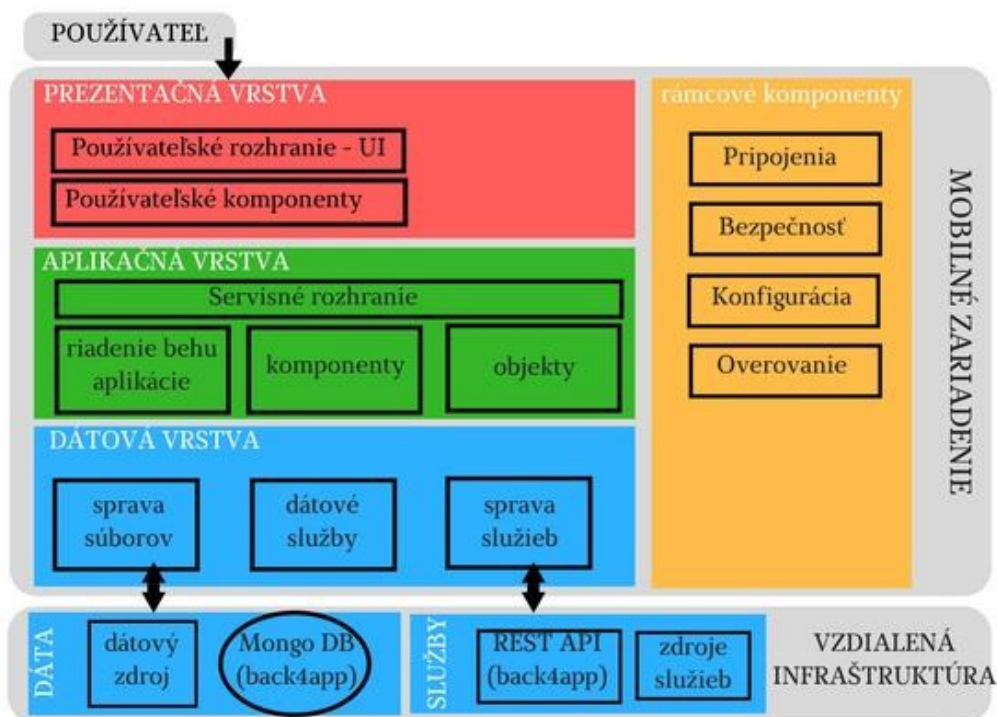
Najprv sme uvažovali, či by bolo lákavejšie odpovedať na viacero otázok v jednom kvíze naraz, a či by tento kvíz bol sprístupnený týždenne alebo mesačne. Nakoniec sme sa zhodli na tom, že kvíz spravíme zaujímavejším, ak sprístupníme jednu otázku denne, na ktorú používatelia odpovedajú. Ďalšou požiadavkou bolo sledovať skóre používateľov a podľa toho vytvoriť rebríček najlepších. Keďže koňak je pestovaný na území Francúzska, dôležitou požiadavkou bola aj viacnásobná jazyková podpora, ktorej základom bude slovenský a anglický jazyk.

Pri návrhu používateľského rozhrania sme sa snažili o čo najjednoduchší dizajn jednotlivých tlačidiel, textu, rozmiestnenia ikoniek, ale aj výzoru celej aplikácie. Cieľom bolo zaujať používateľov na prvý pohľad a uľahčiť im prácu so samotnou aplikáciou (Obr.2). Logo mobilnej aplikácie CognacQuiz sa vyznačuje bielym pozadím s dúhovými pohármi na koňak. Dúhové farby znamenajú hravosť študentov a spoločnosť má dúhové farby aj v logu pre svoju vzdelávaciu akadémiu. Použitie farby znázorňuje jednoduchosť, ale zároveň aj eleganciu celej aplikácie. Je to kombinácia farieb bielej (#FFFFFF) a purpurovej (#FF4E1119), ktorá je príznačná pre niektoré druhy koňaku alebo tiež môže pripomínať farbu viniča, z ktorého sa koňak vyrába. Farby textu v aplikácii sú tiež jednoduché; buď biele alebo čierne v závislosti od pozadia, na ktorom sú napísané. Z pohľadu použiteľnosti sme sa zamerali na umiestnenie a veľkosť jednotlivých ovládacích prvkov, aby ich vedel používateľ intuitívne nájsť a vykonať akciu, ktorú očakáva. Keďže aplikácia bude vo veľkej miere používaná na výšku, tak aj jednotlivé obrazovky boli vytvorené v tejto orientácii. Pri výbere grafických symbolov (ikoniek) sme sa riadili štandardnými vzormi, napr. tri vodorovné čiary označujúce menu aplikácie.



Obr. 2 Návrh loga a hlavnej obrazovky aplikácie.

Na implementáciu sme si vybrali tradičnú trojvrstvovú architektúru (Obr.3). Na ukladanie dát bude použitá platforma back4app, ktorá používa databázu Mongo DB.



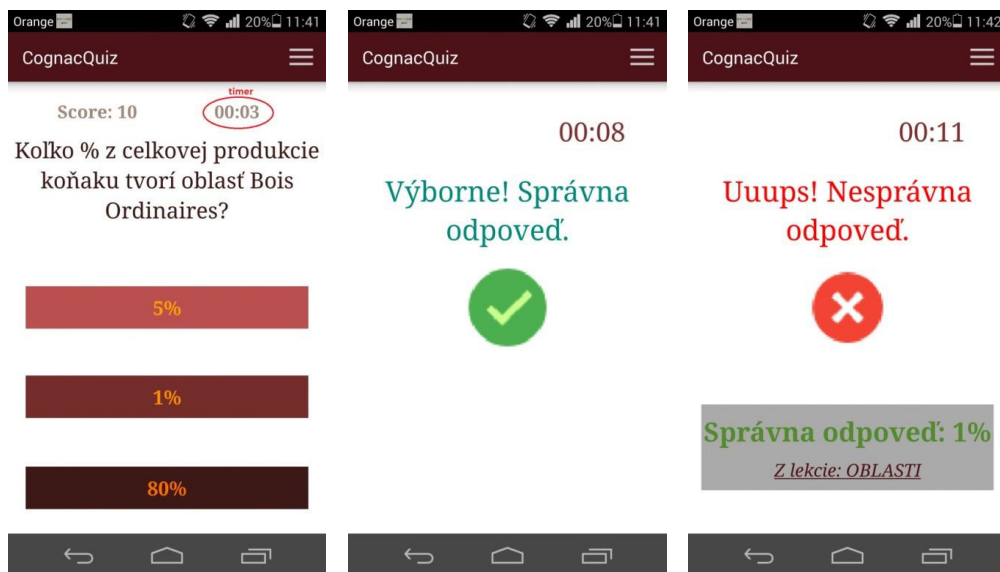
Obr. 3 Návrh architektúry mobilnej aplikácie.

### C. Implementácia

Implementácia mobilnej aplikácie CognacQuiz prebiehala v troch fázach. Výsledkom každej fázy bol prototyp, ktorý sme následne predstavili spoločnosti s cieľom získať spätnú väzbu. Na jej základe boli v ďalšom prototypu upravené pôvodné funkcie a doplnené nové podľa plánu.

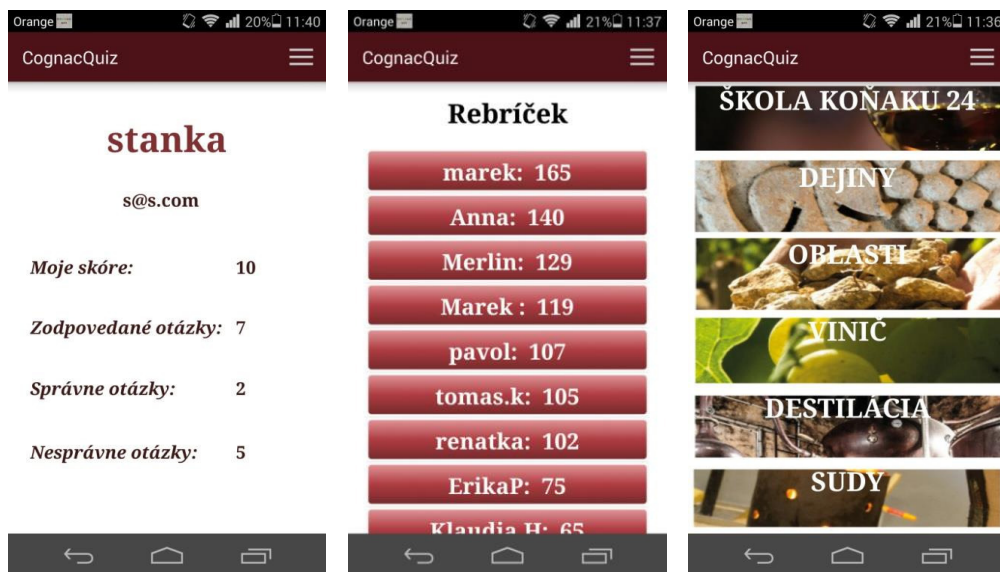
Používateľ má k dispozícii každý deň možnosť odpovedať na otázku (Obr.4). Ak používateľ odpovie nesprávne, nezíska žiaden bod. Správne odpovede závisia aj od časomieru, ktorá beží od otvorenia otázky po jej zodpovedanie. Ak odpovie správne do 10 sekúnd, ku skóre sa pripíše 5 bodov; ak do 20 sekúnd, pripíše sa 4 body; ak do 30 sekúnd, tak 3 body; ak do 40 sekúnd, tak

2 body a v prípade, že používateľ zodpovedal otázku v čase vyššom ako 40 sekúnd, aplikácia mu za správnu odpoveď pripíše bod. Zároveň ho každý deň upozorní na novú otázku prostredníctvom notifikácie



Obr. 4 Ukážka spôsobu fungovania kvízu.

Pomocou obrazovky „Moje skóre“ si používateľ môže pozrieť koľko bodov získal, ale aj na koľko otázok odpovedal správne, nesprávne a celkovo (Obr.5). Okrem toho má k dispozícii aj rebríček všetkých používateľov, ktorí sa zapojili do kvízu spolu s ich aktuálnym bodovým ziskom. Aby používatelia vedeli odpovedať na príslušné otázky, majú k dispozícii aj vysvetľujúce lekcie pre jednotlivé oblasti.



Obr. 5 Ukážka obrazovky „Moje skóre“, „Rebríček“ a „Lekcie“.

Každý používateľ musí potvrdiť pri registrácii potvrdiť, že má vek nad 18 rokov a že súhlasí s podmienkami používania aplikácie.

#### D. Testovanie

Testovanie sme realizovali na vzorke žiakov Hotelovej akadémie v Prešove. Do aplikácie sa nakoniec zaregistrovalo 17 používateľov, z toho viac ako 10 dní testovalo aplikáciu 14 používateľov. Testovanie prebiehalo celkovo 30 dní, čiže jeden mesiac. Počas toho mali používatelia odpovedať na denné otázky (čo znamenalo, že používali aplikáciu). Na záver testovania každý používateľ dostal linku s dotazníkom, v ktorom mal zhodnotiť svoje dojmy z aplikácie. Takisto sme si štatisticky vyhodnotili, ako sa používatelia správali pri testovaní aplikácie:

- Priemerný počet dní, za ktoré používatelia odpovedali na otázky, bol 21.
- Za jeden deň v priemere odpovedalo na otázku 10 používateľov.
- Priemerný počet zobrazení návodu na jedného používateľa bol 20.
- Priemerný počet zobrazení všetkých lekcii na jedného používateľa bol 20.
- Používateľov najviac zaujala lekcia o oblastiach, v ktorých sa koňak pestuje. Bola zobrazená celkovo až 79-krát.

Dotazník bol rozdelený na štyri okruhy. Cieľom úvodných otázok bolo zistiť, či používatelia používajú mobilné aplikácie a ako často. Ďalej pokračovali otázky o vzhľade a funkčnosti aplikácie, ktoré boli formou výberu odpovede z ponúkaných možností. Nakoniec sme zisťovali celkový dojem a prínosy aplikácie, pričom používatelia mohli pri dvoch otázkach rozpísať svoju odpoveď.

Na dotazník celkovo odpovedalo 14 používateľov. 13 zo 14 používateľov uviedlo, že mobilné aplikácie používajú denne. Pre 13 zo 14 bolo jednoduché nainštalovať mobilnú aplikáciu CognacQuiz. 11 používateľov zhodnotilo, že sa im vzhľad páčil a 3, že sa im veľmi páčil. Kombinácia farieb sa páčila 12 používateľom a 2 sa páčila veľmi. Poslednou otázkou o vzhľade používatelia hodnotili logo aplikácie, pričom 10 používateľom sa páčilo. 10 používateľov sa vyjadrilo áno a 4 skôr áno na otázku, či pre nich bola aplikácia ľahko použiteľná. 12 zo 14 používateľom pomohla pripomienka novej otázky nezabudnúť na ňu odpovedať. Okrem jedného používateľa všetkých motivovala ich pozícia v rebríčku zlepšovať svoje vedomosti o koňaku. 10 motivovala časomiera k rýchlejšiemu odpovedaniu. Pri otázke o celkovom dojme z aplikácie 9 používateľov odpovedalo, že majú dobrý dojem a 5 zvolilo odpoveď výborný. 10 používateľov by túto aplikáciu používalo naďalej na 60%, 3 by ju používali na 100% a jeden používateľ na 30%. Padli aj návrhy na vylepšenia, napríklad pridanie videí do aplikácie, výberu úrovne otázok, či zachovanie prihlásenia v aplikácií.

### III. ZÁVER

Problematika motivácie študentov a efektívnosti tradičných foriem výučby nie je nová. Existuje viacero prístupov, ktoré sa snažia stimulovať také kompetencie a zručnosti, ktoré sú pre členov znalostnej spoločnosti kľúčové. Podľa viacerých výskumov sú napr. komunikačné a kooperačné zručnosti, informačný manažment, kreativita, kritické myslenie a riešenie problémov. K ich rozvoju prispievajú aj inovátné formy výučby ako aktívne učenie, m-learning alebo gamifikácia. Pri nasadení každej novej formy je však potrebné zvážiť nielen výhody ale aj nevýhody, ktoré môžu v konečnom dôsledku prekryť očakávaný pozitívny výsledok. Napr. aby využívanie gamifikácie neprerástlo do extrémnej súťaživosti, ktoré namiesto efektívneho a motivovaného prístupu k učeniu bude znamenať podvádzanie a obchádzanie pravidiel.

### POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt "Centrum informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy" (kód ITMS:26220120020), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

### POUŽITÉ ZDROJE

- [1] E. Petlák, J. Komora, *Vyučovanie v otázkach a odpovediach*. Bratislava: IRIS, 2003.
- [2] K. Huotari, J. Hamari, *Defining Gamification – A Service Marketing Perspective*. Proceedings of the 16th International Academic MindTrek Conference 2012, Tampere, Finland.
- [3] J. Lee, J. Hammer, *Gamification in Education: What, How, Why Bother?*. Academic Exchange Quarterly, 15(2), 2011, s. 1-5.
- [4] G. Leblanc, *Enhancing intrinsic motivation through the use of a token economy*. Essays in Education, 11(1), 2004.
- [5] R. Koster, *A theory of fun*. Paraglyph Press. New York, NY, 2004.



# Analýza kognitívneho rádia vo Wi-fi sieťach

<sup>1</sup>Dominik Nezník, <sup>2</sup>Lubomír Doboš

<sup>1</sup>Katedra Elektroniky a Multimediálnych Telekomunikácií, Fakulta Elektrotechniky a Informatiky Technická Univerzita Košice, Slovenská Republika

<sup>2</sup>Katedra Elektroniky a Multimediálnych Telekomunikácií, Fakulta Elektrotechniky a Informatiky Technická Univerzita Košice, Slovenská Republika

<sup>1</sup>dominik.neznik@tuke.sk, <sup>2</sup>lubomir.dobos@tuke.sk

Abstrakt – Článok poukazuje na základný prehľad kognitívneho rádia (CR) pri výbere kanálov, prehľadávanie spektra (spectrum sensing) vo Wi-fi sieťach. Technológia sa snaží využívať dostupné spektrum viac efektívnejšie a tým aj predchádzať rušeniu medzi zariadeniami. Komunikácia medzi jednotlivými zariadeniami obsahuje vždy voľné miesto (holes), ktoré je potrebné len správne vyhľadať a následne aj použiť no len v prípade, ak nebudú ovplyvnení primárni používatelia (PU). CR zariadenia monitorujú spektrum okolo seba, pretože CR je o prehľadávaní spektra a využívaní voľného miesta vo frekvencii, pre posielanie dát. PU si platia za využívanie primárnych (licencovaných) frekvencií, preto nemôžu byť obmedzovaní pri prenose dát. Sekundárni používatelia (SU) neplatia za používanie spektra a teda musia monitorovať svoje okolie, aby nerušili PU. Primárne frekvencie môžu byť použité SU, no iba v prípade, ak nie je aktívna komunikácia na tejto frekvencii. Okamžite ako SU pomocou prehľadávania spektra zistí prítomnosť PU, ktorí sa začínajú pripájať k primárnej frekvencii, musia okamžite uvoľniť frekvenciu. CR má adaptívne, no nie s veľmi veľkým oneskorením vypočítavať a pridelovať kanály uzlom v sieti. Pridelovanie kanálov je rozdelené na dva základné princípy a to proaktívny a reaktívny. Proaktívny neustále monitoruje spektrum, ukladá všetky informácie a následne prideluje kanály. Reaktívny začne monitorovanie a pridelovanie kanálov až po prijatí požiadavky.

Kľúčové slová – dostupné spektrum, kognitívne rádio, primárny používateľ, prehľadávanie spektra, sekundárny používateľ.

## I. Úvod

Heslom dnešnej doby je byť pripojený na Internet. Tu však nastáva problém, ako pripojiť každé zariadenie, keď máme limitované spektrum frekvencií. A práve tento problém má vyriešiť CR technológia [1]. Hlavnou úlohou technológie je využívať dostupne spektrum viac efektívnejšie a teda všade, kde je voľné miesto (hole) bude prebiehať komunikácia. Aby bolo možné pomerne rýchlo a presne meniť frekvencie, musí byť CR technológia schopná meniť parametre mobilnej antény podľa parametrov získaných z okolia, v ktorom sa nachádza [2]. Tieto informácie získa od zariadení, ktoré sú v jeho okolí. Limitované spektrum je jedným z hlavných dôvodov, prečo je potrebné využívať CR, v ktorom sa čo najefektívnejšie použije pásmo. Nie len smartfón, ale aj tablety, smart-hodinky, notebooky chcú byť pripojené, čím sa množstvo zariadení ešte zvyšuje. PU používajú licencované frekvencie na služby. Toto pripojenie nesmie byť rušené žiadnym SU zariadením. SU monitorujú spektrum okolo seba a použijú nelicencované alebo licencované voľné miesto vo frekvenciách na poslanie potrebných dát. Poskytovatelia mobilných služieb platia za práva, aby mohli používať licencované (primary) frekvenčné pásmo. Toto pásmo je primárne určené pre PU. Kanály sa v klasickej komunikačnej sieti pridelia pevne a nemenia sa počas komunikácie. CR technológia umožňuje SU prístup aj ku primárnym kanálom. Avšak je tam jedna veľmi podstatná podmienka a tou je prístup k tomuto kanálu. Je možný pre SU len v prípade, ak nekomunikuje PU v primárnej licencovanej frekvencii. Ak nastane prípad, kedy SU komunikuje na primárnej frekvencii a pri prehľadávaní spektra zistí pripájanie PU, okamžite musí uvoľniť frekvenciu. Posielanie dát v CR je s určitým oneskorením, no prenos je bez potreby platíť poskytovateľovi služieb poplatok za služby.

## II. Princíp kognitívneho rádia

Autor knihy [3] popisuje všetky dôležité fakty na porozumenie tejto problematiky. Najmä ako jednotlivé zariadenia budú manažovať priradovanie jednotlivých kanálov? Aká metóda sa použije na získanie potrebných vstupných dát, na základe ktorých sa následne zvolí kanál tak, aby nedochádzalo k vzájomnému rušeniu, prípadne, ak dôjde k rušeniu, aby bolo minimálne. V článku [4] autor píše o prehľadávaní spektra v CR pomocou teórie hier.

Technológia CR je možné použiť vo Wi-fi sieťach, ad-hoc sieťach, prípadne inej technológii s prístupom k spektru [13], [14]. Ad-hoc, alebo inak označovaná ako oportunistická (príležitostná) sieť, pracuje na princípe, kde si je každé zariadenie rovné. Nenachádza sa tam žiadny router, switch, prístupový bod (AP), ktorý by pridelil kanál na komunikáciu medzi zariadeniami. Každé zariadenie musí monitorovať spektrum okolo seba a vhodne si zvolí kanál na komunikáciu tak, aby čo najmenej obmedzoval ostatné zariadenia vo svojom okolí. Ad-hoc siete pracujú najmä v oblastiach bez infraštruktúry (miesto po katastrofe), alebo univerzitný kampus, kde je pomerne veľa študentov a pomocou ich zariadení je možné preniesť dáta len cez mobilné zariadenia bez potreby pripojenia sa na AP. Nakoľko sú si zariadenia rovnocenné, je možné posielat tieto dáta iba na zariadenia v dosahu ich Wi-fi modulu. Komunikácia bude oneskorená. Dáta je možné prenášať rôznymi cestami, teda v rozličnom čase bude niekoľko kópií dát prijatých u príjemcu [5]. Ad-hoc s CR umožní vylepšiť nielen zmenu kanálov, ale aj prerozdelenie kanálov efektívnejšie z dostupného spektra pre posielanie dát [6].

### A. Prehľadávanie spektra v CR

Prvá vec, ktorú musí každé zariadenie spraviť pred tým ako začne komunikovať s ostatnými zariadeniami, je prehľadanie spektra okolo seba. Týmto procesom zistí zariadenie o existujúcej komunikácii a rovnako aj o pridelených kanáloch okolo seba, podľa čoho bude vedieť, ako voliť jednotlivé kanály pre svoju komunikáciu. Manažment pridelovania kanálov je rovnako dôležitý, najmä ak ide o parametre či už lokálneho charakteru alebo globálneho charakteru, kedy zariadenie zistí topológiu siete, hustotu zariadení v jeho okolí [7]. Detekcia vysielania (non-cooperative) je použitá na detekciu signálu v spektre CR a to pomocou slabého prijatého signálu PU z lokálneho okolia uzla.

Prvý typ detekcie pomocou prispôbeného (matched) filtra. Táto detekcia je optimálna pre statický Gaussov šum, a to z toho dôvodu, že maximalizuje pomer medzi prijatým signálom a šumom. Výhoda je vo vysokej hodnote zisku vzhľadom na koherenciu. Detekcia musí mať informácie o PU spolu s vlastnosťami daného signálu (typ modulácie, formát paketu).

Druhá skupina je založená na detekcii energie, kde sa použije hranica, prah (threshold)  $\lambda$ . Na základe hodnoty a hranice sa rozhodne o prítomnosti signálu v spektre. Nastavenie hodnoty nie je veľmi jednoduché. Hodnota je ovplyvnená vzdialenosťou, rušením okolo zariadenia, okolím a šumom. Detekcia je vhodná pre neznáme signály, pretože je zaznamenaná len hodnota šumu.

Tretia skupina cyclostationary je detekcia, kde sa používajú vlastnosti signálu, ako je nosič vlny (wave carrier), impulzy, sekvencia prepínania (hopping sequence). Typ detekcie je založený na analyzovaní spektrálnej korelácie.

### B. Prehľadávanie spektra vo Wi-fi

Klasická Wi-fi sieť existuje len s routrami (AP), ktoré majú za úlohu manažovať dôležité informácie a predchádzať vzniku kolíziám, kde zariadenia komunikujú. Iný typ je sieť bez AP, kde sú si všetky zariadenia rovnocenné. Prehľadávanie spektra vo Wi-fi je zobrazené na Obr. 2., tu je možné vidieť dva základné typy získavania informácií od zariadení v okolí:

- 1) Pasívne prehľadávanie
- 2) Aktívne prehľadávanie

Prvý typ pasívneho prehľadávania len počúva okolie a prijíma beacon frame od AP in IEEE 802.11 štandardoch. Ide o metódu, v ktorej je nulová spotreba energie, počas prehľadávania spektra. Zariadenie potrebuje len postupne prechádzať kanály. Prehľadávanie kanálov je postupne cez všetky dostupné kanály v Európe je to od 1 do 13. Zariadenie si nastaví frekvenciu kanála, na ktorej zostane určitú dobu (listen time). Počas tohto intervalu zariadenie prijíma beacon z okolia od ostatných zariadení prípadne od AP. Aby sa ušetrila energia beacon framu sa nevysiela nepretržite, ale v intervaloch. Tento interval sa nazýva Target beacon transmit time (TBTT) je zobrazený na Obr. 1. Medzi jednotlivými intervalmi, kedy sa vysiela beacon, je voľné miesto použité na komunikáciu

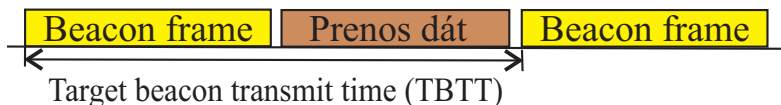


Fig. 1 Interval vysielania beacon frame

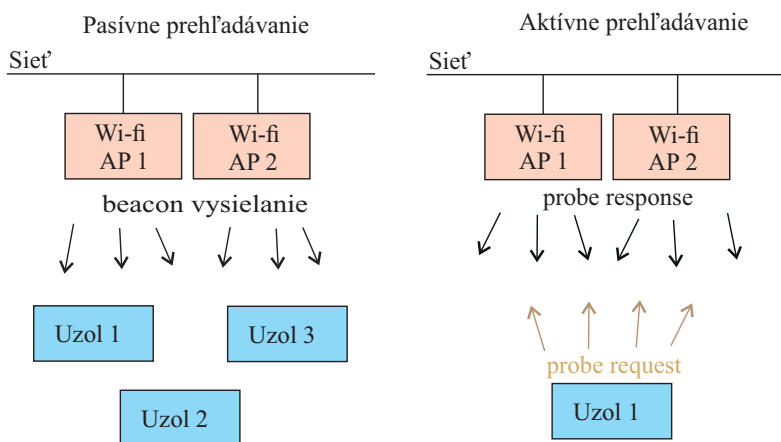


Fig. 2 Spektrálne prehľadávanie kanálov vo Wi-fi.

medzi zariadeniami s už existujúcim spojením až do nasledujúceho beacon vysielania. Opakované vysielanie beacon framu je nutné aj pre mobilitu zariadení. V prípade, ak sa zariadenie dostane veľmi ďaleko od AP pomocou handoff, sa toto zariadenie pripojí na AP so silnejšou intenzitou signálu. Okamih, kedy sa beacon frame začne vysielat ako broadcast, teda každé zariadenie v jeho okolí prijme tento frame. Na to, aby zariadenie prijalo tento frame, je potrebné, aby zariadenia počúvali počas intervalu vysielania tohto framu. Beacon sa vysielá v periódach, teda zariadenia musí počúvať okolie spektrálne len v časových intervaloch, kedy beacon bude vysielat zariadenie [8], [9].

Aktívne prehľadávanie spotrebuje energiu na vysielanie požiadavky (request) a následne prijatie (response) frame. zariadenie nastaví príslušnú frekvenciu kanála rovnako ako pri pasívnom prehľadávaní. Nasledne postupne cez ostatné kanále dostupné pre Európu až po posledný. Zariadenie nastaví frekvenciu následne vysielá request frame do okolia. V prípade, ak sa v okolí nachádza AP, na tomto kanále po prijatí požiadavky sa spracuje a následne sa okamžite pošle späť odpoveď (response). Probe response obsahuje informácie o zariadení. Response sa vyšle, ak bude prítomné zariadenia, prípadne AP. Pri procese nadviazania komunikácie medzi dvoma zariadeniami je potrebné vykonať autentizáciu zariadenia a následne asociáciu, kde sa nastaví potrebné parametre na úspešné spojenie týchto zariadení.

Prehľadávanie spektra nie je iba o použití metódy ako získame potrebné informácie, ale aj o časových intervaloch (time intervals), obzvlášť, ak ide o bezdrôtové siete. Bezdrôtové zariadenia musia predpokladať či iné zariadenie chce vysielat dáta. Ak áno, je potrebné, aby sa vyhlo kolíziám pri komunikácii a prenose dát. Časové sloty majú riešiť a predchádzať tomuto problému.

### C. Časové intervaly v prehľadávaní spektra

Frame vieme vysielat náhodne v čase rôznymi zariadeniami. Ak budeme vysielat takto náhodne, bude dochádzať ku zhľuku dát, ktorú nebude možné rozlíšiť, teda bude potrebné ich opätovne preposlať, čo zbytočne preťaží prenosové médium v sieti. Intervaly sa použijú na vytvorenie poriadku pri prenose dát prostredím cez nelicencované pásmo, najmä v bezdrôtovej sieti. Posielanie framov jeden za druhým nie je jediným dôvodom, prečo je potrebné používať intervaly. Ďalším je informácia o čase, kedy zariadenie musí ostať v režime, či už na príjem alebo vysielanie. Jednotlivé intervaly sa delia podľa ich časovej dĺžky a pozostávajú z časových slotov. Autor článku [10] popisuje každý jeden z týchto slotov. Frame informácie sa používajú v signalizačných dátach v procese pripájania medzi zariadeniami.

- 1) PHY určuje: the short interframe space (SIFS),
- 2) PHY určuje: the slot time,

- 3) the priority interframe space (PIFS),
- 4) the distributed interframe space (DIFS),
- 5) the extended interframe space (EIFS).

Trvanie SIFS intervalu je najkratšie, používa sa medzi RTS/CTS frames alebo medzi CTS a posielanie dát. Autor [11] popisuje RTS/CTS metódu, ktorá čiastočne rieši problém kolízie, no v sieti s viacerými uzlami a dátami. Interval sa snaží vyhnúť poškodeniu framu s iným typom, prípadne rovnakým framom od iného zariadenia (sending data or acknowledge – ACK). Voľné miesto medzi frame poskytuje lepšiu kvalitu na strane príjemcu. Slot time je ďalší interval, jeho doba je o niečo málo väčšia ako SIFS. Nasleduje PIFS, dĺžka pozostáva z dĺžky SIFS, ku ktorému sa pripočíta ešte jeden časový slot. DIFS pozostáva z SIFS plus dva-time slots. Je použitý, ak zariadenie začne prehľadávať spektrum prenosového média. Po tejto dobe (waiting time), nasleduje random backoff time interval, aby sa predišlo kolíziám medzi posielaním frame. Najdlhší časový interval EIFS, ktorý nemá presne stanovenú dobu trvania. EIFS sa aplikuje, ak bol frame chybné vyslaný. Trvanie každého z vyššie spomenutých intervalov je určené podľa typu modulácie na prístup k médiu. Medzi tieto metódy patrí FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum), OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum).

Random backoff interval generuje náhodný počet časových slotov, počas ktorého musia zariadenia čakať. Až po uplynutí tejto doby môže zariadenie pristúpiť na prehľadávanie spektra prenosového média. Doba sa líši pri opätovnom generovaní, to využíva sieť pozostávajúca z viacerých zariadení a nedochádza k vzájomnému rušeniu pri zisťovaní prevádzky na médiu v rovnakom čase. Plochu o rozmeroch 500 m x 500 m, kde sú dve zariadenia na rovnakom kanále, ktoré zisťujú prítomnosť prevádzky na tomto kanále. Nenastane žiadny konflikt, ak ich vzájomná vzdialenosť je väčšia ako dosah ich Wi-fi antény.

### III. Proces výberu kanála pomocou CR vo Wi-fi sieťach

Uzly začnú prehľadávať bezdrôtové spektrum, po dokončení procesu získavania všetkých dostupných AP v dosahu zariadenia sa začne proces posielania signalizačných dát do AP. Tieto dáta obsahujú request smerom k AP a response od AP do zariadenia. Po tomto kroku nastane proces pripojenia a nadviazania spojenia. Kanál je nastavený pevne vo Wi-fi sieťach, po ktorom sa prenášajú dáta, ak ide o bezdrôtové siete s AP. Siete bez AP potrebujú prehľadávať spektrum, aby bolo možné využívať voľné miesta medzi jednotlivými prenosmi dát a efektívne využívať dostupné spektrum. Výber vhodného kanála súvisí s metódou prístupu k médiu. Wi-fi používa distributed coordination function (DCF) v CSMA, a tiež point coordination function (PCF). Keď zariadenie potrebuje prístup na médium, vytvorí požiadavku (poll request) na tento prístup a pošle ju do AP, prípadne zariadeniu, ktorému je to určené a bude očakávať prijatie, alebo zamietnutie požiadavky. Obe tieto metódy majú výhody a nevýhody, ale ak chceme využiť len ich výhody, musíme použiť hybridnú koordinačnú funkciu (HCF). Podrobný opis časových intervalov v predchádzajúcich odsekoch vysvetľuje, že ich hlavná funkcia bráni rušeniu alebo nečitateľným rámcami na oboch stranách komunikácie. Vysielanie signálov zo zariadenia je založené na rôznych typoch antén (všesmerové, tvarovanie lúča).

#### A. Prístup vo Wi-fi

Siete s neustále sa meniacimi parametrami, topológiou a rozsahom medzi konkrétnymi dvomi uzlami na základe ich pohybu musia mať algoritmus výberu kanálov s veľmi dlhou dobou výpočtu, pretože ak sa uzly presunú a zmenia svoju polohu, informácie nebudú aktuálne. Existujú dve hlavné skupiny prístupov, ktoré by mali riešiť problém, ktorý nastane:

- 1) reaktívne,
- 2) proaktívne.

Reakčný prístup začína fungovať len vtedy, keď nastane problém. Táto metóda nie je veľmi efektívna v porovnaní s časom potrebným na výpočet potrebného riešenia, pretože táto metóda začína hľadať riešenia iba vtedy, keď je to potrebné. Prvým krokom, ktorý táto metóda urobí, je snímanie a ukladanie dôležitých informácií o sieti. Potom začne algoritmus riešiť problém. Ak nás netrápi čas ani kroky, ktoré sú potrebné na výpočet riešenia, reakčný prístup je ten správny pri navrhovaní nášho algoritmu.

Proaktívny prístup sa zameriava na prevenciu a elimináciu problémov skôr, ako sa objavia. Tento prístup obsahuje veľa informácií o sieti, ako napríklad susedov uzlov, kanálov priradených PU a SU. Okrem toho, ktorý kanál môže používať používateľ, topológiu celej siete alebo iba jej časti. Prístup neustále funguje na výpočet najlepších riešení, takže ak

sa problém objaví, tento prístup zohľadňuje len informácie, ktoré už má, a odošle ich tam, kde je to potrebné.

#### B. Problém kolízie vo Wi-fi

Autori v článku cite kim2013hidden opisujú ďalší veľmi dôležitý problém v technológii Wi-fi, ktorá je problémom s úkrytom uzla a spôsobuje poškodenie rámcov. Dva prístroje vo vzájomnom dosahu budú vedieť o sebe navzájom, môžu vedieť o sebe, ale ak bude tretia stanica v dosahu iba s jedným z nich, druhé zariadenie bude skryté. Problém nastane pri pridelovaní kanálu a tiež pri signalizácii odosielania údajov v prostredí. Zhuk framov sa nerozpozna, preto znovu bude potrebné tieto dáta poslať. Ako opisujú autori, existujú tri typy straty framu:

- 1) kolízia (synchronne rušenie),
- 2) skrytý uzol (asynchronne rušenie),
- 3) kanálová porucha.

Prvé rušenie je spôsobené uzlami v každom vzájomnom dosahu, keď vysielajú súčasne ako ostatné. Signály vytvoria zhuk dát a nebude možné ich rozlíšiť. Ak sa použije vhodná metóda prístupu, ako napríklad viacnásobný prístup na kódovanie (CDMA), môže byť na rovnakom médiu viac ako jeden prenos signálu. Všetky uzly majú svoj vlastný prenosový kód, ktorý im umožňuje vziať zo zhuku signálov iba časť, ktorá im patrí. Problém so skrytými uzlami sa objavuje v sieťach s viacerými kanálmi. Je to problém, ktorý je potrebné vyriešiť efektívne vďaka dnešnej ére nazvanej Internet of things sieťových zariadení. Kognitívne rádio sa pokúša naplniť nelicencovaný priestor (holes), aby sa efektívne posielali údaje prostredníctvom spektra. Ak voľné miesto rozpoznajú dve zariadenia v rovnakom čase, odošlú prostredníctvom tohto voľného priestoru signalizačné dáta spoločne. Na strane prijímača signál neobsahuje iba informácie z jedného uzla, ako by mal, ale aj z druhého zariadenia. Výsledkom bude potreba nájdenia nového voľného miesta na opätovné odoslanie údajov, čo povedie k oneskoreniu dát (signalizačné dáta). Poslednou skupinou poškodenia rámca alebo stratou dôležitých informácií sú nedostatky kanála. Signál je ovplyvnený úpadkom (fading) v dôsledku vzdialenosti alebo budov v oblasti prenosu signálu. Mesto má veľa budov, takže signál sa od nich odrazí, ale bude aj znížený v dôsledku úpadku. Keď sa objaví kolízia, celý rám je vždy poškodený, nielen jeho časť.

#### C. Výber kanála vo Wi-fi pomocou frame informácií

Knihy [8], [9] opisujú veľmi podrobne informácie o bezdrôtových technológiách, pretože verzia štandardného rámca 802.11 neobsahuje rovnaké informácie v každom bloku rámca používaného vo Wi-fi. Beacon frame obsahuje informácie, ktoré sa používajú pri ďalšej analýze siete, ako interval beacon, BSS ID a podporované rýchlosti. Podporované rýchlosti obsahujú 8 oktétov, pričom každý oktét predstavuje dátové rýchlosti. Uzly alebo routre závisia od typu siete, ktorú použijú pre ďalší krok pri pridelovaní informácií potrebných na pokračovanie procesu priradenia kanála. Tiež naplánujte čas a vyberte správne zariadenie na vysielanie alebo pripravený na prijatie údajov cez prostredie. Frame obsahuje aj informácie o používanom spôsobe prenosu do iného zariadenia. Zariadenie, ktoré prijme beacon z tohto framu, získa informácie o type siete, v ktorej existuje AP, alebo ide o ad-hoc sieť, kde je každé zariadenie rovnaké. Tieto informácie o type sietí sú na bloku nazývanom sada parametrov IBSS. Blok informačných kapacít v beacon je plný dôležitých informácií, jedným z nich je ESS s rovnakou dôležitosťou ako informácie IBSS. Keď je ESS nastavená na 1, je to sieť s infraštruktúrou teda s routerom (AP), ktorého úlohou je riadiť a nastavovať prístup k uzlom v lokálnej sieti. Router nastavuje kanál, potrebný na úspešné odosielanie alebo prijímanie údajov prostredníctvom sietí. Takmer všetky nastavenia vykonáva router, uzol sa potrebuje len úspešne pripojiť k routru. IBSS v tomto prípade bude 0. Ak je IBSS nastavená na 1 a ESS je 0, znamená to, že sieť nemá infraštruktúru (ad-hoc), takže každé zariadenie musí spracovať všetky nastavenia, ktoré sú potrebné na odosielanie údajov a pripojenie k iným zariadením.

#### IV. Záver

Kognitívne rádio je technológia budúcnosti, kde všetko bude súčasťou Internetu. Dnes máme nový pojem Internet of Things, kde každé zariadenie sa snažíme vyrobiť, tak, aby bolo možné ho pripojiť na sieť. Článok poukazuje na základné princípy kognitívneho rádia. Môj výskum bude pokračovať v skúmaní danej problematiky a najmä sa zameria na manažment výberu kanálov vo Wi-fi technológii. Rovnako v rámci výskumu sa budem snažiť navrhnúť vhodnú metódu na výber kanálov a to tak, aby bolo rušenie zo zariadení z okolia čo najmenšie.

## Poďakovanie

Táto práca vznikla v rámci výskumného projektu VEGA 1/0075/15, financované Ministerstvom Školstva Slovenskej Republiky a podpory COST Action CA15127 ("Resilient communication services protecting end-user applications from disaster-based failures – RECODIS").



## References

- [1] A. De Domenico, E. C. Strinati, and M.-G. Di Benedetto, "A survey on MAC strategies for cognitive radio networks," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 14, no. 1, pp. 21–44, 2012.
- [2] I. F. Akyildiz, W.-Y. Lee, M. C. Vuran, and S. Mohanty, "NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey," *Computer networks*, vol. 50, no. 13, pp. 2127–2159, 2006.
- [3] F. R. Yu and H. Tang, *Cognitive radio mobile ad hoc networks*. Springer, 2011, vol. 507.
- [4] L. C. Cremene and D. Dumitrescu, "Analysis of cognitive radio scenes based on non-cooperative game theoretical modelling," *IET communications*, vol. 6, no. 13, pp. 1876–1883, 2012.
- [5] M. De Leoni, F. De Rosa, S. Dustdar, and M. Mecella, "Resource disconnection management in MANET driven by process time plan," in *Proceedings of the 1st international conference on Autonomic computing and communication systems*. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), 2007, p. 24.
- [6] I. F. Akyildiz, W.-Y. Lee, and K. R. Chowdhury, "CRAHNs: Cognitive radio ad hoc networks," *Ad hoc networks*, vol. 7, no. 5, pp. 810–836, 2009.
- [7] G. Castignani, N. Montavont, and A. Arcia-Moret, "Analysis and evaluation of WiFi scanning strategies," *Proceeding of IV Cibelec*, pp. 3–7, 2010.
- [8] M. Gast, *802.11 Wireless networks: The definitive guide*. O'Reilly Media, Inc., 2005.
- [9] M. S. Gast, *802.11ac: A survival guide*. O'Reilly Media, Inc., 2013.
- [10] M. Ergen, "IEEE 802.11 Tutorial," *University of California Berkeley*, vol. 70, 2002.
- [11] B. Mawlawi, J.-B. DORE, N. Lebedev, and J.-M. Gorce, "Multiband CSMA/CA with RTS-CTS strategy," in *Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), 2014 IEEE 10th International Conference on*. IEEE, 2014, pp. 628–633.
- [12] M. Kim and C.-H. Choi, "Hidden-node detection in IEEE 802.11n Wireless LANs," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 62, no. 6, pp. 2724–2734, 2013.
- [13] J. Mack, S. Gazor, A. Ghasemi, and J. Sydor, "Dynamic channel selection in cognitive radio wifi networks: An experimental evaluation," in *Communications Workshops (ICC), 2014 IEEE International Conference on*. IEEE, 2014, pp. 261–267.
- [14] R. Combes and A. Proutiere, "Dynamic rate and channel selection in cognitive radio systems," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 33, no. 5, pp. 910–921, 2015.

# Ovplyvňovanie javu CPM s využitím EDFA v CWDM systéme

<sup>1</sup>Tomáš IVANIGA, <sup>2</sup>Luboš OVSENÍK, <sup>3</sup>Ján TURÁN, <sup>4</sup>Tomáš HUSZANÍK

<sup>1,2,3,4</sup> Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>tomas.ivaniga@tuke.sk, <sup>2</sup>lubos.ovsenik@tuke.sk, <sup>3</sup>jan.turan@tuke.sk,

<sup>4</sup>tomas.huszanik@student.tuke.sk

**Abstrakt** — Cieľom tohto článku je popis nelineárneho javu typu CPM (Cross Phase Modulation), ktorý sa vyskytuje v plne optických komunikačných systémoch. V súčasnosti nie je možné vytvoriť WDM (Wavelength Division Multiplex) systém bez softwarových nástrojov, ktoré by umožňovali navrhnuť reálny systém pri daných podmienkach. Medzi najdôležitejšie komponenty WDM patrí zosilňovač typu EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier), kde dochádza k zosilneniu všetkých vlnových dĺžok. Je vytvorená 10 Gbps optická linka CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplex) systému, podľa štandardu ITU-T G.694.2, na ktorej je pozorovaný jav CPM. V prostredí Matlab boli vytvorené dva linkové kódy (NRZ, Miller), ktoré boli následne implementované do OptSimu.

**Kľúčové slová** — CPM, CWDM, EDFA, OptSim

## I. ÚVOD

Súčasná doba by sa nedala nazvať inak, ako dobou informačných a telekomunikačných technológií. Rok čo rok zaznamenávame zvýšený dopyt po informáciách čo umožňuje vznik nových služieb, najmä v oblasti telekomunikácií. Pripojenie k internetu je dnes v každej domácnosti samozrejmosťou. S tým súvisí nárast dopytu po službách ako video na vyžiadanie (VoD), streamovanie videa či hudby, VoIP a mnohé iné [1-3]. S neustálym nárastom počtu používateľov a tiež nárastom požiadaviek na prenos čoraz väčších objemov dát v krátkom čase s využitím súčasnej infraštruktúry vedie k vzniku mnohých problémov. Súčasná dátová sieť sa len veľmi ťažko s týmito problémami vysporiadať. Jedným z týchto problémov je šírka pásma. Donedávna boli najrozšírenejším typom prenosového média sietí metalické vedenia. Avšak veľmi rýchlo sme u metalických vedení narazili na fyzikálne hranice v oblasti kapacity a šírky pásma. Metalické vedenia sa stávajú čoraz viac nedostačujúcimi. Z toho dôvodu sa muselo nájsť nové vhodnejšie prenosové médium. Týmto novým typom média je optické vlákno.

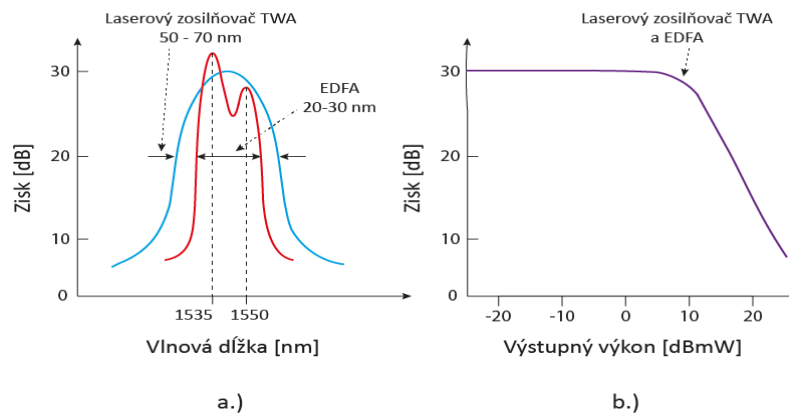
Veľmi výhodná vlastnosť optických vlákien vychádza práve z vlastností svetla. Je ňou veľká šírka pásma, ktorá je obmedzená len frekvenciou svetelného vidu. Optické vlákna sú preferované hlavne kvôli schopnosti zabezpečiť rýchlejší a kvalitnejší prenos veľkého množstva dát vo veľmi krátkom čase. V súčasnosti nám optické vlákna umožňujú prenášať objemy dát až 10Gbps - 40Gbps. Kapacita optických sietí môže byť ešte zvýšená využitím technológie WDM. WDM nám umožňuje prenášať viacero kanálov pri použití jedného fyzického optického vlákna. Pomocou WDM systémov je možné dosiahnuť prenosovú rýchlosť až 1Tbps [4], [5]. Vzrastajúci počet vyšších prenosových rýchlostí pre čoraz väčšie vzdialenosti smeruje k dosiahnutiu limitov optických vlákien. Hlavnými faktormi, ktoré vplyvajú na kvalitu a spoľahlivosť je útlm a disperzia optického vlákna. Nemožno nespomenúť aj nelineárne javy ako napr. SPM (Self Phase Modulation), XPM (Cross Phase Modulation) a FWM (Four Wave Mixing), ktoré vo výraznej miere ovplyvňujú prenos signálov optickými vláknami.

## II. ZÁKLADNÝ PRINCÍP EDFA

História EDFA sa datuje až do šesťdesiatych rokov 20. storočia. Reálne využitie v oblasti optických sietí si však EDFA našlo až v deväťdesiatych rokoch. Objav tejto technológie je významným medzníkom vo vývoji optických komunikačných systémoch. Odtedy je EDFA používaný v širokom spektre aplikácií – širokopásmové optické zosilňovače, optické zdroje či preladiateľné lasery a možno ho objaviť aj v optickom koherentnom tomografe. EDFA je úspešne používaný najmä vo WDM prenosových systémoch. EDFA umožnil konštruktérom

optických komunikačných systémov využiť na prenosy optické okno v okolí 1,55 $\mu$ m a tiež výrazne prispel k zvyšovaniu prenosových rýchlostí a k zvyšovaniu prenosových vzdialeností. Erbium dopované optické vlákno je druh kremičitého optického vlákna, ktorého jadro je dopované iónmi erbia Er<sup>3+</sup>. Elektróny erbiom dopovaného optického vlákna môžu byť excitované do vyšších energetických levelov budením svetla s kratšou vlnovou dĺžkou. EDFA je veľmi efektívne v pásmach C (1530nm–1560nm) a L (1570nm–1610nm). Ideálna charakteristika zisku EDFA je dosiahnuteľná v oblasti 1530nm–1560nm. Typický zisk erbiom dopovaného optického vlákňového zosilňovača na vzdialenosť približne 10m je 20–30dB. Maximálny dosiahnuteľný výkon na výstupe zosilňovača je limitovaný výkonom čerpaného zdroja svetla. Hodnota tohto výkonu sa môže pohybovať v rozmedzí 20–50mW (13–17dBm).

Dôležitým faktorom, ktorý výraznou mierou ovplyvňuje účinnosť EDFA, je výber zdroja čerpaceho svetla. V praxi sú používané zdroje svetla, ktoré čerpajú svetlo s vlnovou dĺžkou 980nm a 1480nm [6]. Použitie čerpaceho zdroja svetla o vlnovej dĺžke 980nm vedie k vysokým hodnotám zosilnenia a k relatívne nízkym hodnotám šumu. Použitie vlnovej dĺžky 1480nm zdroja čerpaceho svetla síce vedie k vyšším hodnotám zosilnenia ako pri použití vlnovej dĺžky 980nm, avšak takýto zdroj svetla vykazuje nižšiu účinnosť a vyšší šum. V praxi je bežné aj použitie súčasne oboch typov čerpacích zdrojov. V prvom stupni zaistí čerpací zdroj svetla 980nm nízky šum a dostatočný zisk. Vysoký výstupný výkon sa dosiahne v druhom stupni použitím čerpaceho zdroja svetla s vlnovou dĺžkou 1480nm. Takýmto spôsobom dosiahneme nízky šum a vysoký výstupný výkon EDFA. Typický priebeh zisku a saturačného výstupného výkonu je zobrazený na Obr. 1.



Obr.1. Charakteristiky EDFA: a.) typický profil zisku, b.) typický saturačný výstupný výkon.

### III. NELINEÁRNY JAV CPM

Nelineárny jav krížovej fázovej modulácie CPM vychádza podobne ako jav SPM z Kerrovo efektu. Jav SPM je hlavným javom obmedzujúcim kvalitu prenosu signálu najmä v jednokanálových optických komunikačných systémoch, zatiaľ čo jav CPM sa prejavuje v dvoj a viac kanálových optických komunikačných systémoch. Nelineárne javy SPM a XPM sú si z hľadiska nelineárnej závislosti veľkosti indexu lomu od intenzity prenášaného signálu veľmi podobné [7-9]. Hlavným rozdielom je, že v prípade CPM je celkový fázový posun v danom kanáli optického komunikačného systému ovplyvňovaný ostatnými kanálmi daného optického komunikačného systému. Index lomu optického vlákna je taktiež ovplyvňovaný celkovým výkonom signálov všetkých kanálov systému.

CPM je teda hlavným nelineárnym javom vyskytujúcim sa v mnohokanálových optických komunikačných systémoch, kedy je fáza signálu v jednom kanáli ovplyvňovaná signálmi z iných kanálov toho istého systému [10]. Jav CPM je však pri šírení dvoch alebo viacerých svetelných impulzov sprevádzaný javom SPM. Teda nelineárny index lomu nie je závislý iba od intenzity jedného optického signálu, ale aj od intenzity ostatných signálov šírených tým istým komunikačným systémom. To sa vo výsledku prejavuje deformáciou svetelného impulzu a prekrývaním impulzov šíreného signálu v spektrálnej oblasti.

Efektívny index lomu nelineárneho optického vlákna môžeme popísať ako:

$$n_{ef} = n_l + n_{nl} \frac{P}{A_{ef}}, \quad (1)$$

kde  $n_l$  je lineárny index lomu,  $n_{nl}$  je nelineárny index lomu,  $P$  je výkon naviazaný na optické vlákno a  $A_{ef}$  je efektívna oblasť jadra optického vlákna. To znamená, že nelinearita určujúca jav



CPM je závislá od pomeru výkonu naviazaného na optické vlákno a efektívnej oblasti jadra optického vlákna. Potom aj koeficient šírenia bude výkonovo závislý:

$$k_{ef} = k_l + k_{nl}P, \quad (2)$$

kde  $k_{ef}$  je efektívna konštanta šírenia, ktorá je daná súčtom lineárnej zložky šírenia  $k_l$  a nelineárnej zložky šírenia  $k_{nl}$  prenasobenej výkonom  $P$ . Fázový posun signálu potom možno určiť ako:

$$\phi_{nl} = \int_0^L (k_{ef} - k_l) dz = k_{nl}P_{in}L_{ef}. \quad (3)$$

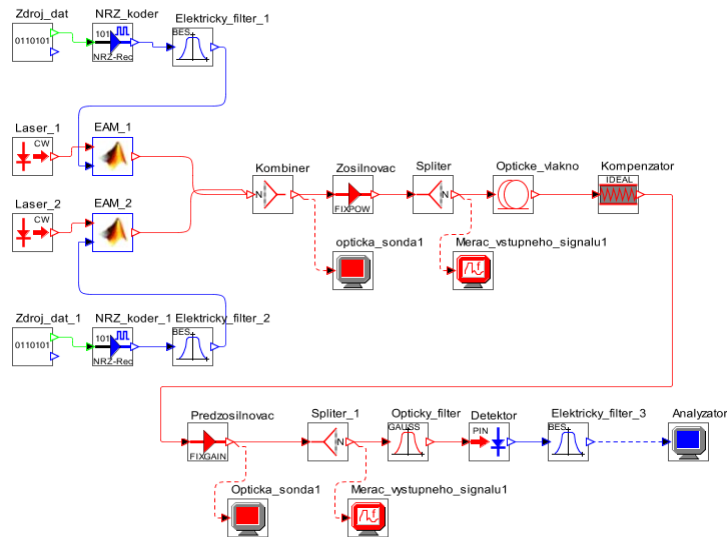
V tomto vzťahu je  $L_{ef}$  efektívna dĺžka optického vlákna. Tento vzťah (3) opisuje fázový posun v jednonáľovom systéme. Avšak pri predpoklade optického komunikačného systému s  $N$  kanálmi, v ktorom širime niekoľko optických signálov súčasne, je fázový posun prvého kanála ovplyvňovaný všetkými ostatnými kanálmi v tomto komunikačnom systéme. Potom fázový posun  $i$ -teho kanála v  $N$ -kanáľovom optickom komunikačnom systéme vplyvom nelineárneho javu CPM je daný vzťahom:

$$\phi_{nl}^i = k_{nl}L_{ef}(P_i + 2 \sum_{n=i+1}^N P_n). \quad (4)$$

Nelineárny jav CPM je vo WDM systémoch rovnako nežiaduci ako jav SPM. Vplyv CPM na komunikačný systém sa prejavuje vo väčšej miere ako SPM a jeho degradačné účinky narastajú so zvyšujúcou sa intenzitou optického žiarenia naviazaného na optické vlákno. Rozhodujúcim faktorom je aj rozstup medzi jednotlivými kanálmi v systémoch SWDM. Čím je rozstup medzi kanálmi menší, tým väčší má XPM vplyv na kvalitu preneseného signálu.

#### IV. NÁVRH 2-KANÁLOVÉHO CWDM PRE OVERENIE JAVU CPM S VYUŽITÍM EDFA

Pre účely overenia vplyvu CPM na optický vláknový komunikačný systém bol v prostredí OptSim navrhnutý dvojkanáľový CWDM systém, v ktorom boli menené linkové kódy a umiestnenie EDFA (Obr.2).



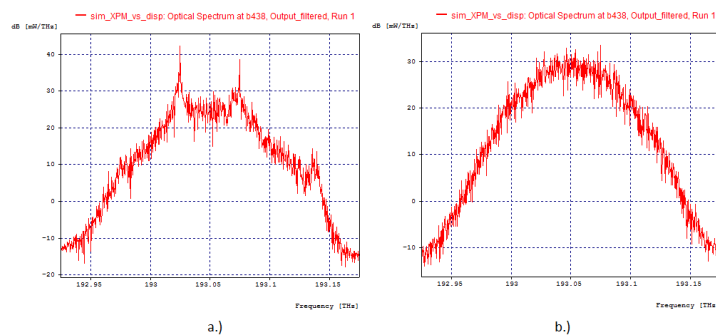
Obr.2. 2-kanáľový optický komunikačný systém pre overenie vplyvu CPM.

Vysielacia časť je tvorená štyrmi základnými blokmi. Prvý blok reprezentuje zdroj dát, ktorý umožňuje generovať rôzne typy binárnych postupností. V našom prípade máme nakonfigurovaný blok PRBS (Pseudo Random Binary Sequence) pre každý prenosový kanál, tak že produkuje maximálnu dĺžku pseudonáhodných binárnych postupností. PL (Patter Length) je určený hodnotou 7 (množstvo bitov generovanej bitovej sekvencie). Množstvo nulových bitov na začiatku sekvencie je rovný hodnote 2 a na konci sekvencie hodnote 3. Bitová rýchlosť je nakonfigurovaná na 10Gbps. Úlohou modulátora je zabezpečiť konverziu vstupného binárneho signálu na výstupný elektrický signál. Elektrický signál je generovaný použitím On\_off\_ramp (elektrický signál je generovaný použitím doby nábehu, doby a načasovania jittera). Použitá modulácia je typu NRZ (Non Return to Zero), výstupná hodnota je vyjadrená

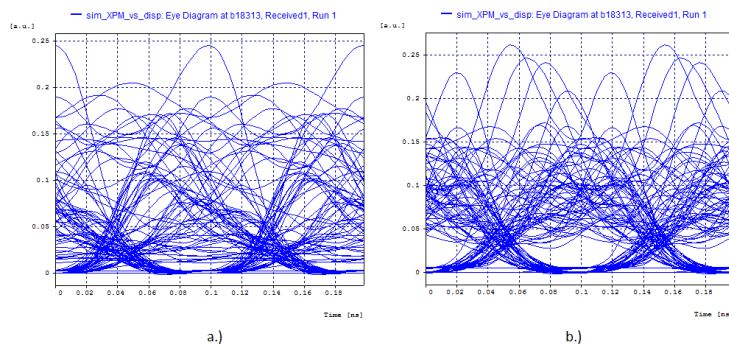
jednotkou Volt, pričom množstvo jednotiek na jeden bit v elektrickom signáli je daný hodnotou 5. Maximálna hodnota výstupného elektrického signálu  $V_{\max}$  je 1 a minimálna hodnota výstupného signálu  $V_{\min}$  je 0. Tento blok obsahuje dva typy portov: prvý je logický kde vstupujú hodnoty z PRBS a druhý je elektrický, kde vystupujú hodnoty z generátora. Ďalším vytvoreným blokom je Laser. Vysielaný výkon v každom bloku je zvolený úrovňou 1mW a RIN dosahuje hodnotu -150dB/Hz. Posledným blokom je modulátor. Nami zvolený model uvažuje elektro-optický modulátor, ktorý využíva moduláciu typu MZ (MachZehnder). Daný signál následne smeruje do multiplexora kde dochádza k zlučovaniu optických signálov. Pre účely simulácie boli navrhnuté 3 konfigurácie zapojenia prenosovej časti. V prvom zapojení je optický zosilňovač EDFA zapojený ako predzosilňovač a jeho úlohou je zosilniť optický signál tak, aby bol detekovateľný detektorom prijímača. Druhou možnosťou je zapojenie optického zosilňovača EDFA ako výkonového zosilňovača, ktorý zosilňuje optický signál ešte pred prenosom cez optické vlákno. Treťou možnosťou je zapojenie EDFA na optickej trase, teda ako linkový zosilňovač.

V zapojení EDFA ako predzosilňovača a výkonového zosilňovača je dĺžka optického vlákna 100 km a konštantná disperzia -10ps/nm/km. V linkovom zapojení EDFA je dĺžka optického vlákna 2x50km a konštantná disperzia -10ps/nm/km. Prijímacia časť pozostáva z optického filtra, fotodetektora na báze PIN diódy a z elektrického filtra.

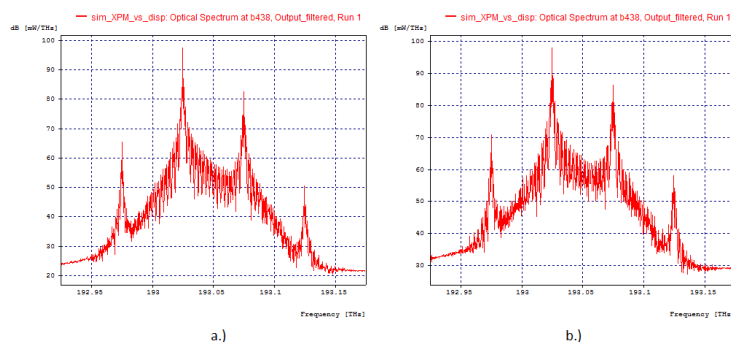
Na Obr. 3 a Obr. 5 sú znázornené vplyvy CPM na prenášaný optický signál, a na Obr. 4 a Obr. 6 sú znázornené diagramy oka pre rôzne typy kódovania. Výsledné hodnoty BER (Bit Error Rate) pre použitie NRZ (Non-Return to Zero) a Millerovho kódovania sú v Tab.1



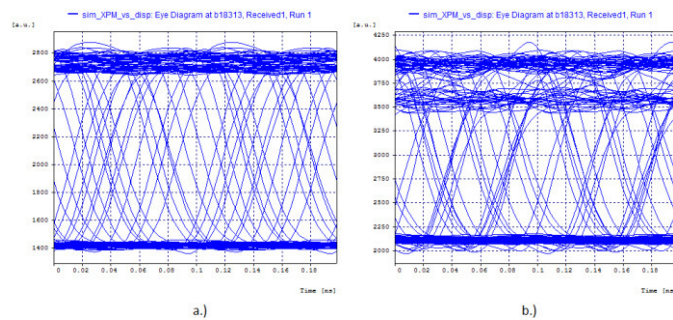
Obr.3. Priebeh optického signálu na výstupe pri použití NRZ a EDFA v konfigurácii „výkonový zosilňovač“ pri zosilnení a.) 20 dBm, b.) 25 dBm.



Obr. 4. Diagramy oka pre NRZ kódovanie a EDFA v zapojení „výkonový zosilňovač“ pri zosilnení a.) 20 dBm, b.) 25 dBm.



Obr. 5. Priebeh optického signálu na výstupe pri použití Millerovho kódu a EDFA v konfigurácii „linkový zosilňovač“ pri zosilnení a.) 20 dBm, b.) 25 dBm.



Obr. 6. Diagramy oka pre Millerovo kódovanie a EDFA v zapojení „linkový zosilňovač“ pri zosilnení a) 20 dBm, b) 25 dBm.

Tab. 1  
 Výsledné hodnoty BER pre použitie NRZ a Millerovho kódovania

Kódovanie		BER			Miller		
Zosilnenie	Pred	NRZ			Pred	Výkonový	Linkový
		Výkonový	Typ EDFA				
			Linkový				
10	$1 \times 10^{-40}$	$1 \times 10^{-40}$	$1 \times 10^{-40}$	$1 \times 10^{-40}$	$3,68 \times 10^{-16}$	$3,57 \times 10^{-18}$	
15	$1 \times 10^{-40}$	$2 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-40}$	$1 \times 10^{-40}$	$3,63 \times 10^{-8}$	$9,07 \times 10^{-18}$	
20	$1 \times 10^{-40}$	$4 \times 10^{-3}$	$1,15 \times 10^{-16}$	$1 \times 10^{-40}$	$2,5 \times 10^{-2}$	$3,14 \times 10^{-18}$	
25	$1 \times 10^{-40}$	$2,27 \times 10^{-2}$	$4,79 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-40}$	$2,3 \times 10^{-2}$	$8,61 \times 10^{-10}$	
30	$1 \times 10^{-40}$	$1,1 \times 10^{-2}$	$3 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-40}$	$2,3 \times 10^{-2}$	$1,3 \times 10^{-2}$	

## V. ZÁVER

Vplyv nelineárneho javu CPM bol najvýraznejší pri použití výkonového zosilňovača EDFA. Degradáčnne účinky CPM sa so zvyšujúcim zosilnením zvyšovali, čo malo za následok pokles faktoru kvality (Q faktor) a nárast chybovosti BER celého systému. Z priebehov prijatých signálov možno vidieť akým spôsobom ovplyvňuje CPM prenášaný signál. Avšak je nutné dodať, že nelineárny jav XPM nie je možné v takomto optickom systéme izolovať od ostatných nelineárnych javov. Z toho dôvodu môže byť prenos ovplyvnený aj javom SPM. Všimnúť si možno aj vznik nových frekvenčných zložiek v prijatých signáloch, čo je typickým znakom javu FWM. V optických komunikáciách, je optická linka považovaná za prijateľnú, keď BER je pod hodnotou  $10^{-12}$ . Pri porovnávaní na základe BER môžeme zhodnotiť, že použitie NRZ kódu má lepšie hodnoty v porovnaní s Millerovým kódom.

## POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou (KEGA) Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky na základe projektu č. 023TUKE-4/2017. Táto práca je tiež výsledkom zmluvy č. VEGA 1/0772/17 - Lokalizácia osôb na základe detekcie ich vitálnych funkcií UWB senzormi krátkého dosahu.

## LITERATÚRA

- [1] T. Ivaniga, E. Ovseník, J. Turán, "Influence of Self-Phase Modulation on 8 and 16-Channel DWDM System with NRZ and Miller Coding", Carpathian Journal of Electronic and Computer Engineering, ISSN: 1844-9689, vol.8, no.1, 2015, pp.17-22.
- [2] P. Ivaniga, "Informační síť P", 1 vyd. Žilina, Žilinská univerzita, 1997, ISBN 80-7100-375-1, 98 pp.
- [3] E. Mikuš, P. Ivaniga, "Multimediálne prvky v digitálnej knižnici", IT lib. Informačné technológie a knižnice, ISSN:1336-0779, 2006, pp.21- 23.
- [4] P. Liptai, M. Moravec, M. Badida, "Research of possibilities of using the recycled materials based on rubber and textiles combined with vermiculite material in the area of noise reduction", Advanced Materials Research, vol. 1001, 2014, pp. 171-176.
- [5] K. Thyagarajan, A. Ghatak, "Fiber Optics Essentials", ISBN 978-0-470-09742-7, 2007, John Wiley & Sons, Inc. Hoboken New Jersey, 239 pp.
- [6] P. Ivaniga, "Hodnocení chybovosti ve vysokorychlostních digitálních sítích", Žilinská univerzita v Žiline, 2007 EDIS – vydavateľstvo ŽU, ISBN 978-80-8070-771-2, 97 pp.
- [7] P. Ivaniga, J. Smieško, "The relationship between Q - factor and the error rate in optical networks", International Journal of Science Commerce and Humanities, vol. 2, no. 3, 2014, pp. 96-102.
- [8] P. Liptai, M. Moravec, E Lumnitzer, K. Lukačová, "Impact analysis of the electromagnetic fields of transformer stations close to residential buildings". In: SGEM 2014, vol. 1, 2014, pp. 355-360.
- [9] P. Ivaniga, L. Mikúš, "Measuring of Block Error Rates in High-Speed Digital Networks", Advances in Electrical and Electronic Engineering, vol. 5, 2011, pp. 35-36.
- [10] E. Mikuš, "LMS systém Moodle", E-learn Žilina 2004, ISBN 80-8070-190-3, 2004, pp. 243-248.

# Implementácia sietí PON a FTTH vo fyzikálnom modeli TUKE

<sup>1</sup>Tomáš IVANIGA, <sup>2</sup>Luboš OVSENÍK, <sup>3</sup>Ján TURÁN, <sup>4</sup>Tomáš HUSZANÍK

<sup>1,2,3,4</sup> Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>tomas.ivaniga@tuke.sk, <sup>2</sup>lubos.ovsenik@tuke.sk, <sup>3</sup>jan.turan@tuke.sk,  
<sup>4</sup>tomas.huszanik@student.tuke.sk

**Abstrakt** — Cieľom tohto článku je porovnanie optických sietí PON (Passive Optical Network) a FTTH (Fiber To The Home). V LOS (Laboratórium optoelektronických systémov) na KEMT (Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií) boli vytvorené optické siete rôznych dĺžok. Pri realizácii bolo použité optické vlákno typu G-652.B o dĺžke 706m, PLC (Planar Lightwave Circuit) splitter s deliacim pomerom 1:4, optické konektory SC/PC a RISER indoor rozvádzač. V článku sú dané optické siete najskôr navrhnuté, následne odsimulované a napokon realizované. Návrh optických sietí bol vytvorený v programovom prostredí *OptSim* od spoločnosti “RSoft“. Hlavným prínosom tohto príspevku je porovnanie rozdielov medzi odsimulovanými a reálne odmeranými parametrami optických sietí. Príspevok taktiež poukazuje na to, kedy je lepšie použiť optický splitter a kedy je lepšie spojiť vlákno priamo ako P2P (Peer to Peer). Dané vzdialenosti reprezentujú skutočné vzdialenosti medzi budovami na FEL, a to ÚVT (Ústav Výpočtovej Techniky) a laboratórium LOS na V4 (Vysokoškolská 4). Kvalita optických sietí je vyhodnotená použitím metódy OTDR (Optical Time Domain Reflectometry).

**Kľúčové slová** — FTTH, OTDR, PON

## I. ÚVOD

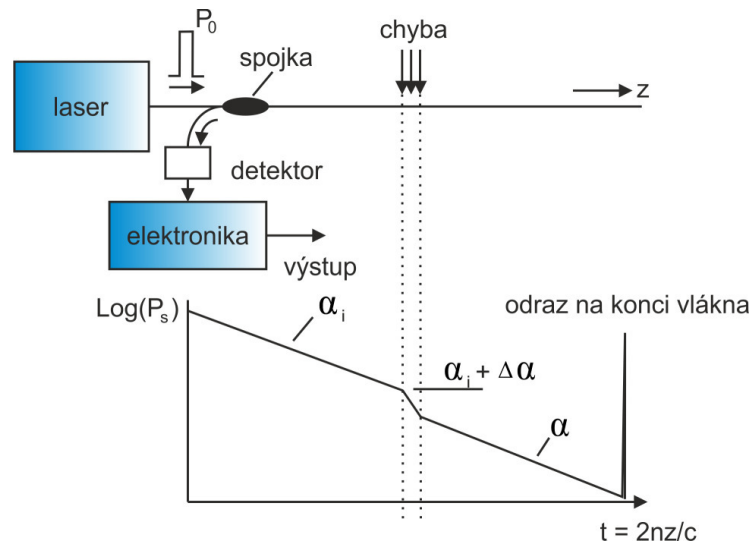
Problematickou optických komunikačných systémov sa v minulosti zaoberalo a v súčasnosti zaoberá čoraz viac domácich, ale aj zahraničných autorov. Komponenty daných systémov sú teoreticky analyzované, ale aj v praxi efektívne využívané najmä vo sfére telekomunikácií. V uplynulých rokoch sa aj na Slovensku vytvorila skupina špecialistov, ktorí optickým telekomunikačným sieťam venujú zvýšenú pozornosť. Využitie optických zdrojov a vlákien koherentného svetla bolo veľkou motiváciou pre mnohých vedcov k rozvoju optických komunikačných systémov.

V dnešnej dobe považujeme optické vlákna za efektívne prenosové médium slúžiace na prenos veľkého množstva dát na veľkú vzdialenosť, a to vďaka výborným vlastnostiam, ktorými optické vlákna disponujú na rozdiel od ostatných prenosových médií, ako napríklad voľný priestor alebo medené káble [1-3]. Optické siete je možné rozdeliť aj podľa možnosti zdieľania použitých vlákien alebo samotných koncových jednotiek na siete typu bod-bod (P2P) a bod-multibod (P2MP). Pri alternatívnej sieti typu P2P je prenosová cesta a každá komunikačná jednotka na koncovej strane určená len pre jedného koncového používateľa. V prípade optickej siete typu P2MP je časť optickej infraštruktúry vrátane centrálnej komunikačnej jednotky zdieľaná väčším počtom koncových používateľov.

## II. OPTICKÁ ČASOVÁ REFLEKTOMETRIA

Z hľadiska zaistenia spoľahlivosti a údržby prenosových trás s optickými vláknami je veľmi dôležitá diagnostika vlákien už pri ich samotnej výrobe a montáži. OTDR je tiež známa ako metóda spätného rozptylu. Princíp spočíva vo vysielaní krátkych periodických optických impulzov do analyzovaného optického vlákna. Časť optického signálu sa kvôli mikro-nehomogenitám v jadre optického vlákna odrazí späť na začiatok vlákna v dôsledku lineárneho Rayleighovho rozptylu. Pomocou Fresnelovho odrazu je možné lokalizovať hrubé nehomogenity, ktoré sú spôsobené napr. nesprávnym konektorovým pripojením alebo prerušením optického vlákna [4]. Výsledkom analýzy je krivka spätného rozptylu v logaritmickú mierku, ktorá nám poskytuje informácie nielen o celkovej kvalite optického vlákna v závislosti na jeho dĺžke, ale aj informácie o jednotlivých úsekoch trasy.

V prípade, ak je vlákno homogénne, intenzita odrazeného svetla klesá exponenciálne s časom práve kvôli útlmu vo vlákne (Obr.1).



Obr.1. Princíp merania OTDR.

Taktiež je možné zistiť vložený útlm konektorov, zvarov, celkovú dĺžku vlákna, poruchy a jednotlivé komponenty danej optickej siete. Metóda OTDR má rozsiahle uplatnenie vo všetkých sférach optických komunikácií [5-7]. Meraním je možné získať celkový prehľad kvality optickej siete. Výhodou je, že pre pripojenie optického reflektometra k meranej sieti je postačujúci prístup iba k jednému koncu optického vlákna.

Maximálny výkon vstupujúceho impulzu  $\tau$  s trvaním je  $P_0$ , odrazený výkon detegovaný s časovým oneskorením  $t$  od vyslania vstupného impulzu môžeme vyjadriť nasledovne:

$$P_s(t) = (1 - \kappa)\kappa P_0 D r(z) \exp\left[-\int_0^z 2\alpha_i(z) dz\right], \quad (1)$$

kde  $z=ct/2n$  je pozícia pôvodného impulzu v čase vytvorenia detegovaného odrazeného signálu  $P_s(t)$ ,  $\alpha_i(z)$  je útlmový koeficient v Np (1 Np=8,68 dB),  $\kappa$  je oddeľovací pomer výkonu na vstupe,  $r(z)$  je koeficient efektívneho spätného odrazu na jednotku dĺžky, ktorý berie do úvahy Rayleighov odrazový koeficient a prierez vlákna,  $D=(ct/n)$  je dĺžka svetelného impulzu vo vlákne v ľubovoľnom časovom okamihu,  $c$  je rýchlosť svetla a  $n$  je skupinový index jadra optického vlákna. Predpokladajme, že útlm vstupného pulzu a odrazené svetlo sú si rovné. Strmosť logaritmu tohto detegovaného signálu sa rovná stratovému koeficientu, ktorý je vyjadrený ako:

$$\frac{\partial(\ln P_s)}{\partial z} = -2\alpha_i(z). \quad (2)$$

Na Obr.1 oblasti s vyššou stratou  $\alpha_i$  reprezentované vyšším sklonom na trase OTDR. Priestorové rozlíšenie OTDR je definované ako najmenšia vzdialenosť medzi dvomi rozptylmi, ktoré môžu byť ňou pozorované, a je určené šírkou vstupného impulzu:

$$\Delta z_{min} = \frac{c\tau}{2n}. \quad (3)$$

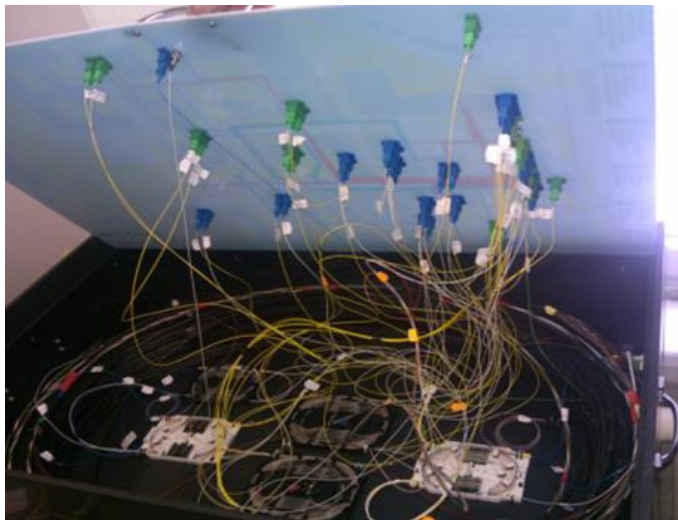
Pre impulz so šírkou 10ns je rozlíšenie OTDR na úrovni asi 1m. Vo všeobecnosti impulzy vysielané OTDR slabé a za účelom dosiahnutia optimálneho pomeru signál/šum je potrebné získať výsledky spriemerovať [8]. Pre meranie optických sietí s jednovidovými vláknami sú v dnešnej dobe štandardne používané vlnové dĺžky 1310nm a 1550nm. Pri vlnovej dĺžke 1310nm sa výrazne prejavujú nekvalitné prevedené zvary optických vlákien a nesprávne konektorové spojenia.

Vlnová dĺžka 1550nm sa používa pre lepšiu diagnostiku a lokalizáciu ohybov, a teda pre odhalenie potenciálnych porúch na optickej trase [9]. Meranie parametrov optických vlákien a optických trás metódou OTDR predstavuje dôležitý nástroj pre zaistenie prevádzky prenosových sietí.

### III. REALIZÁCIA OPTICKÝCH SIETÍ

Pred samotnou realizáciou optickej siete je nevyhnutné navrhnutú sieť odsimulovať, pričom budú zahrnuté všetky javy, ku ktorým môže dochádzať. V LOS máme dostupný softvér od spoločnosti RSoft, ktorý sa používa na simuláciu reálnych optických sietí. Pomocou tohto softvéru sú navrhnuté siete PON a FTTH. Celá implementácia fyzikálneho pracoviska prebehla v týchto krokoch: návrh sietí, simulácia, realizácia fyzikálneho pracoviska, otestovanie pomocou OTDR a nakoniec zhodnotenie výsledkov.

Na Obr. 2 môžeme vidieť telo fyzikálneho modelu TUKE, v ktorom sú implementované siete typu PON a FTTH.

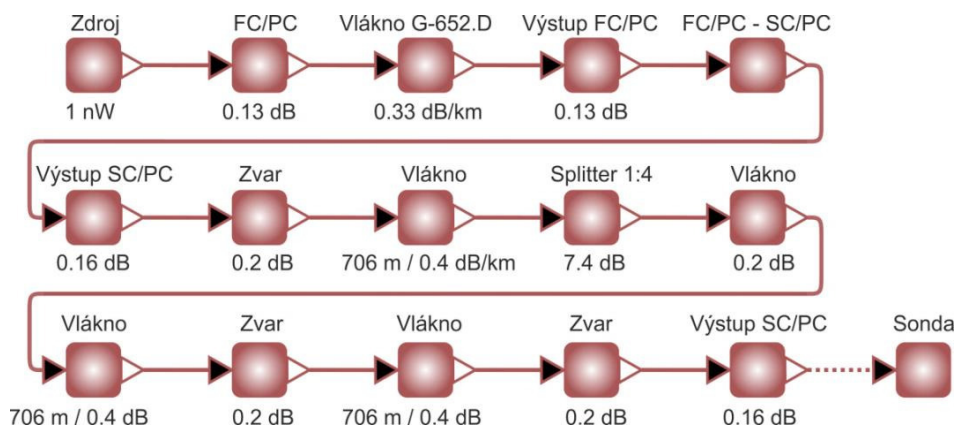


Obr.2. Telo fyzikálneho modelu TUKE.

#### A. Návrh, implementácia a simulácia optických sietí

Optické siete, ktoré boli vytvorené, reprezentujú budovy TUKE. Jednotlivé budovy UVT a LOS sú podľa GPS od seba vzdialené 1453m. Pri zadávaní vzdialenosti sa pridalo 300m optického vlákna, a to kvôli poschodiam v jednotlivých budovách. Konektory, ktoré boli použité pre ukončenie optického vlákna v RISER indoor switchgear, boli SC/PC a v simulácii predstavovali útlm 0.16dB. K realizácii bolo použité optické vlákno o dĺžke 706.4m, ktoré bolo typu G-652.B a predstavovalo útlm 0.4dB/km. Pomocou tejto dĺžky boli vyskladané vzdialenosti medzi UVT a LOS. Optický splitter, ktorý bol použitý v prípade FTTH, mal deliaci pomer 1:4 a predstavoval útlm 7.4dB. Jednotlivé optické zvary (40mm) predstavovali útlm 0.2dB. Keďže pri meraniach je nevyhnutné do optickej siete zaradiť predradné vlákno, je potrebné s ním rátať aj pri simuláciách. Vlákno malo útlm 0.33dB/km a bolo typu G-652.D.

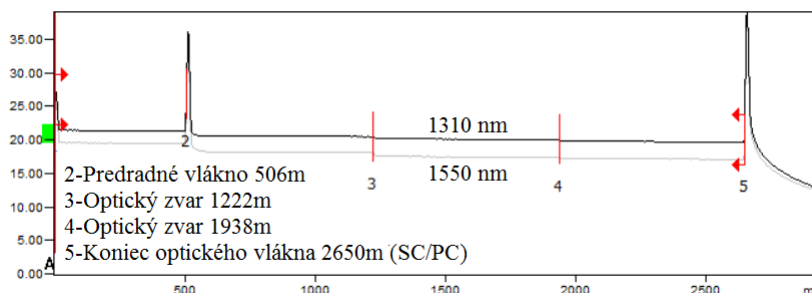
Na Obr.3 je vytvorená topológia, ktorá predstavuje P2P a P2MP. Pri simuláciách sa zadávali maximálne útlmy jednotlivých komponentov. Nevýhodou *OptSimu* je absencia merania optickej siete pomocou OTDR. Výsledné spektrá na výstupe boli v rozsahu 193.362-193.466THz. Útlm pre PON mal hodnotu približne 6.2dB a pre FTTH to bola hodnota približne 13.1dB.



Obr.3. Princíp merania OTDR.

### B. Kontrola výstupných parametrov pomocou OTDR

Na celkovú kvalitu optických sietí sa použila metóda na meranie optických vlákien OTDR. Na Obr.4 je odmeraná optická trasa typu PON a výsledné hodnoty sú v Tab.1. Merania sa prevádzali na vlnových dĺžkach 1310nm a 1550nm. Šírka impulzu bola 100ns a meranie na jednej linke bolo spriemerované na 60s. Nastavená dĺžka merania bola 5000m. Kvôli eliminácii mŕtvej zóny sa použilo 504m optického vlákna s konektormi typu FC/PC.



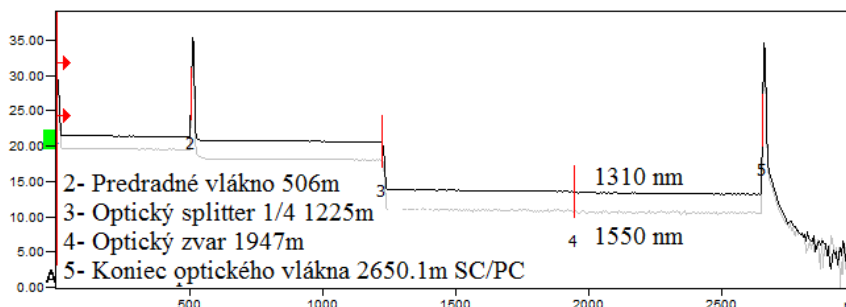
Obr.4. Krivka spätného rozptylu z OTDR pre PON pri 1310nm a 1550nm.

Tab. 1  
 Hodnoty PON pre 1310nm a 1550nm

Číslo merania	Lokalizácia (m)	Typ javov	Straty (dB)	Odraz (dB)	Oneskorenie (dB/km)	Kumul (dB)
<b>Meranie na vlnovej dĺžke 1310 nm</b>						
1	0000	Začiatok merania	---	-50	---	0.000
2	506.3	Dĺžka PV (506.3m)	0.173	-31	0.341	0.173
		Dĺžka OV (719.1m)	0.222			1.738
3	1225.4	Dĺžka OV (711m)	-0.126	0.350	0.350	1.864
		Dĺžka OV (713.7m)	0.249			2.113
4	1936.4	Odraz	0.294	-40	0.359	2.407
5	2650.1	Odraz	0.256	-40	>-19	2.663
<b>Meranie na vlnovej dĺžke 1550 nm</b>						
1	0000	Začiatok merania	---	-49	---	0.000
2	506.4	Dĺžka PV (506.4m)	0.103	-38	0.203	0.103
		Dĺžka OV (1434.3m)	0.671			4.303
3	1940.7	Dĺžka OV (709.3m)	0.570	0.160	0.160	4.974
		Dĺžka OV (709.3m)	0.113			5.544
4	2650.1	Odraz	---	-15	---	5.657

Z nameraných hodnôt je zjavné, že útlm na 1310nm je menší približne o 3dB. Keďže sa odčítava pre-radnité vlákno, celková dĺžka trasy je 2150.1m. Optická linka je vyskladaná z troch optických vlákien (cca. 706m) spojených optickými zvarmi. Pri vlnovej dĺžke 1550nm sa neprejavil optický zvar na 1225m. Vyšší útlm je spôsobený ohybom optického vlákna za pre-radným vláknom. Je to spôsobené tým, že na vlnovej dĺžke 1310nm sa zvyčajne prejavujú optické zvary.

Na Obr.5 je navrhnutá optická sieť FTTH s PLC splitterom a výsledné hodnoty sú v Tab.2.



Obr.5. Krivka spätného rozptylu z OTDR pre FTTH pri 1310nm a 1550nm.

Tab. 2  
 Hodnoty FTTH pre 1310nm a 1550nm

Číslo merania	Lokalizácia (m)	Typ javov	Straty (dB)	Odraz (dB)	Oneskorenie (dB/km)	Kumul (dB)
<b>Meranie na vlnovej dĺžke 1310 nm</b>						
1	0000	Začiatok merania	---	-50	---	0.000
		Dĺžka PV (506.3m)	0.173		0.341	0.173
2	506.3	Dĺžka OV (719.1m)	1.334	-31		1.506
			0.213		0.296	1.719
3	1225.5	Dĺžka OV (717.4m)	6.748			8.467
			0.298		0.415	8.765
4	1942.7	Dĺžka OV (709.2m)	0.166			8.931
			0.205		0.289	9.135
5	2650.1	Odraz	---	-47	---	9.135
<b>Meranie na vlnovej dĺžke 1550 nm</b>						
1	0000		---	-49		0.000
		Dĺžka PV (506.4m)	0.098		0.194	0.098
2	505.3	Dĺžka OV (721.1m)	4.247	-38		4.345
			0.284		-38	4.629
3	1226.5		7.270			11.900
		Dĺžka OV (1425.5m)	1.048		-15	12.947
4	2650.1	Odraz	---	-15		12.947

Pri meraní sa útlm pohyboval v rozmedzí 9-13dB. Optický splitter bol nasadený vo vzdialenosti 719.1m. Útlm na 1550nm je väčší, a to vďaka ohybu za predradným vláknom. Pomocou deliča optického vlákna možno do optickej siete včleniť ešte ďalších účastníkov, avšak útlm sa bude pohybovať v rozmedzí cca. 10dB.

#### IV. ZÁVER

Cieľom tohto článku bolo vytvorenie dvoch typov optických sietí, a to PON a FTTH. Pred samotnou realizáciou danej optickej siete je potrebné ju navrhnuť a otestovať v simulačnom prostredí tak, aby boli zarátané všetky nežiaduce javy. Pri simuláciách nám vyšli väčšie hodnoty v porovnaní s nameranými. Je to dané tým, že pri simuláciách sa zadávajú katalógové hodnoty, t.j. maximálne hodnoty útlm. Optická sieť typu PON mala nameraný útlm o cca 8dB menší v porovnaní s FTTH.

Výhodou PON siete je malý útlm, ktorý je spôsobený iba zvarmi a ohybmi optického vlákna. Nevýhodou tejto siete je spojenie len dvoch užívateľov. Druhá sieť typu FTTH mala väčší útlm, ktorý bol spôsobený optickým splitterom. V optických sieťach predstavuje splitter najväčší útlm.

Nevýhodou FTTH siete je väčší útlm, avšak hlavnou výhodou je rozdelenie optického vlákna pre viacerých účastníkov. Toto sa týka hlavne sietí typu P2MP. Pri rozhodovaní, ktorý typ siete vybrať medzi LOS a UVT, bolo nutné splniť požiadavky ako: počet účastníkov, cena a útlm. Obe siete sú reálne vytvorené s dĺžkou 2150m a závisí od zákazníka a jeho požiadaviek, aký typ siete sa použije pri realizácii.

#### POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou (KEGA) Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky na základe projektu č. 023TUKE-4/2017. Táto práca je tiež výsledkom zmluvy č. VEGA 1/0772/17 - Lokalizácia osôb na základe detekcie ich vitálnych funkcií UWB senzormi krátkého dosahu.

#### LITERATÚRA

- [1] P. Ivaniga, E. Mikuš, "The relationship between G.826 Error Performance Objectives and Equivalent BER", Journal of Information, Control and Management Systems, vol. 5, no.1, 2007 pp.39 – 45.
- [2] P. Liptai, M. Moravec, M. Badida, "Research of possibilities of using the recycled materials based on rubber and textiles combined with vermiculite material in the area of noise reduction", Advanced Materials Research, vol. 1001, 2014, pp. 171-176.
- [3] E. Mikuš, P. Ivaniga, "Multimediálne prvky v digitálnej knižnici", IT lib. Informačné technológie a knižnice, 2006, pp.21- 23.
- [4] Rsoft Design Group, Inc: "Manual of optsim Models Reference Volume 1 Sample Mode", 2009, 543 pp.
- [5] P. Ivaniga, J. Smieško, "The relationship between Q - factor and the error rate in optical networks", International Journal of Science Commerce and Humanities, vol. 2, no. 3, 2014, pp. 96-102.
- [6] P. Liptai, M. Moravec, E. Lumnitzer, K. Lukačová, "Impact analysis of the electromagnetic fields of transformer stations close to residential buildings". In: SGEM 2014, vol. 1, 2014, pp. 355-360.
- [7] P. Ivaniga, "Hodnocení chybovosti ve vysokorychlostních digitálních sítích", Žilinská univerzita v Žiline, 2007 EDIS – vydavateľstvo ŽU, ISBN 978-80-8070-771-2, 97 pp.
- [8] P. Ivaniga, E. Mikuš, "Measuring of block error rates in optical transport networks", Journal of Information, Control and Management Systems, vol. 4, no. 2, 2006, pp. 223-230.
- [9] E. Mikuš, "LMS systém Moodle", E-learn Žilina 2004, ISBN 80-8070-190-3, 2004, pp. 243-248.



# Inteligentné vyhradenie kanálov v CR-MANET na základe snímania spektra

<sup>1</sup>Martin MATIS, <sup>2</sup>Dominik NEZNÍK, <sup>3</sup>Dávid HRABČÁK, <sup>4</sup>Lubomír DOBOŠ

<sup>1,2,3,4</sup> Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>martin.matis@tuke.sk, <sup>2</sup>domonik.neznik@tuke.sk, <sup>3</sup>david.hrabcak@tuke.sk,  
<sup>4</sup>lubomir.dobos@tuke.sk

**Abstrakt** — Príspevok sa zameriava na technológiu kognitívnych Rádio (CR), ktorá sa implementuje v sieti Mobile Ad-hoc (MANET). CR-MANET siete obsahujú niekoľko zásadných problémov pri používaní. V tomto článku spomenieme dva z nich a to snímanie spektra a pridelovanie kanálov. Tieto problémy sú zároveň aj hlavnou oblasťou nášho výskumu. Snímanie spektra je zamerané na zisťovanie obsadenosti jednotlivých frekvencií vo Wi-Fi, prípadne iných bezdrôtových technológií. Mobilné zariadenia používajú niektoré inteligentné, ale aj neinteligentné techniky výberu a pridelovania možných kanálov medzi jednotlivými zariadeniami. Obsahom tohto príspevku je predstavenie inteligentnej metódy a to fázy (fuzzy) logika, ktorá sa snaží riešiť problém s efektívnym priradením kanálov. Výsledky zo spektrálneho snímania sú použité ako hlavné vstupné parametre pre túto logiku. Výsledkom logiky je odporúčanie na použitie jednotlivých kanálov a následne ich priradenie pre každý mobilný uzol. Tento problém bol simulovaný a porovnaný s množinou uzlov v CR-MANET sieti. Neinteligentné a inteligentné metódy sme použili na porovnanie a efektívnosti priradenie kanálov.

**Kľúčové slová** — Fuzzy logika; pridelovanie kanálov; výber kanálov; snímanie spektra;

## I. ÚVOD

Kognitívne rádio (CR) sa začína používať aj pre Mobile Ad-hoc Siete (MANET). Nakoľko CR je dnes populárna v dôsledku stále menšieho počtu dostupného spektra v bezdrôtových komunikačných technológiách. Implementácia CR do MANET zlepšuje komunikáciu medzi uzlami a vytvára v tejto sieti väčšiu efektívnosť využívania spektra. CR technológia umožňuje sekundárnym (nelicencovaným) používateľom používať licencované komunikačné spektrum dočasne, oportunistickým alebo Ad-hoc spôsobom, pokiaľ primárni (licencovaní) používatelia nie sú aktívni, alebo začínajú svoje pripojenie. MANET kombináciou s technológiou CR prináša potencionálne riešenie problému spôsobeného neefektívnosťou v politike pridelovania frekvenčného spektra. Nový výskum v tejto oblasti je orientovaný na rôzne témy, ako je spektrum snímanie a prepínanie (handoff), prístup k médiu (medium access) a kontrola topológie, smerovanie (routing) vrátane siete vozidiel a zdravotnej starostlivosti, používanie Inteligentných prístupov (teória hier a iné) [1].

## II. KOGNITÍVNE RÁDIO V MANET SIEŤACH

### A. Kognitívne rádio

CR prináša novú metódu distribúcie kanálov medzi zariadeniami. Hlavný princíp CR je snímač spektra, v ktorom pôsobia dva typy používateľov obmedzenom dostupnom spektre. CR rozlišuje primárnych používateľov (PU) a sekundárnych používateľov (SU). SU používa len voľné priestory (holes) v dostupnom spektre. PU používa spektrum bez obmedzenia, pretože platia za používanie tohto spektra. SU monitoruje spektrum neustále. V prípade pripájania PU na médium SU musia okamžite uvoľniť spektrum. Snímanie spektra je jednou z najdôležitejších procesov zhromažďovania signalizačných údajov. Vhodné kanály sú zvolené na základe analýzy zhromaždených údajov, pri použití vhodného algoritmu [1].

### B. Mobilná Ad-Hoc Sieť

MANET je zoskupenie mobilných uzlov, ktorá vytvára dočasnú a dynamickú sieť bez potreby centralizovaného administratívneho alebo štandardne podporného zariadenia (router), ktoré sú

zvyčajne dostupné. Tieto uzly majú vo všeobecnosti a obmedzený rozsah prenosu, a preto každý uzol hľadá spôsob prenosu cez susedné uzly v zasielaní paketov. To je dôvod prečo uzly v MANET môžu fungovať ako smerovače aj hostitelia. Uzol teda môže posilať pakety medzi ostatnými uzlami ako rovnako ako spúšťať používateľské aplikácie. Tieto typy sietí sú vhodné pre situácie, v ktorých buď nie je pevná infraštruktúra, alebo neexistuje prípadne nasadenie siete nie je možné. MANETy majú mnoho aplikácií v rôznych oblastiach, ako sú vojenské, núdzové komunikácie, konferenčné a senzorové siete. Každá z týchto aplikačných oblastí má svoje špecifické požiadavky na smerovanie protokoly [2].

### C. CR-MANET

Hlavnou myšlienkou kognitívneho rádia je implementácia – MANET siete. Frekvenčné spektrum môže byť lepšie distribuované. Schopnosť dočasnej siete bude Lepšie využívať. Mnohé riešenia v tejto oblasti musia byť zmenené oproti klasickým MANET sieťam. Napríklad smerovacie protokoly, ktoré pracujú v MANET nebudú pracovať rovnako v CR-MANET, kde sa mení používanie jednotlivých kanálov. Jeden z hlavných problémov v CR-MANET je kontrola prístupu k médiu (MAC), kvôli viac-kanálovému prístupu medzi zariadeniami. MANET s CR má zlepšený výber kanálov, efektívnejšie distribuovanie dostupného spektra do zariadení na odosielanie údajov [1].

## III. SNÍMANIE SPEKTRA

Snímanie spektra je prvý proces, ktorú musí každé zariadenie vykonať pri svojom zapnutí pomocou bezdrôtového adaptéra alebo iného typu antény na komunikáciu s ostatnými. Zariadenie môže komunikovať a mať spojenie iba so zariadeniami v dosahu bezdrôtovej antény. Detekcia snímania je na všetkých zariadeniach v sieti a to z dôvodu zistenia prítomnosti zariadení z okolia. Manažment funkčnosti každého kanála je založená na parametroch vypočítaných z informácií, ktoré zariadenie získa z uzlov vo svojom okolí v rámci dosahu. Parametre, ako je prevádzka (traffic), rušenie, RSS, pomer signálu k interferencii popisujú kvalitu daného kanála. Tieto parametre sú súčasťou informácií o stave kanálu (channel state information - CSI), ktoré odkazujú na vlastnosti kanálu pri komunikácii. Detekcia zariadení používa rôzne metódy, veľmi často sa používa vysielateľ (transmitter – non-cooperative) metóda snímania CR. Táto metóda je založená na prijatí slabého signálu PU z lokálneho pozorovania susedných uzlov [3].

### A. Spektrálne snímanie vo Wi-Fi

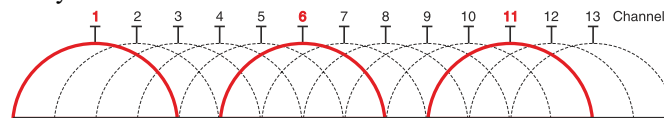
Tradičné Wi-Fi siete zvyčajne obsahujú uzly a aspoň jeden router (AP). Hlavnými funkciami AP sú distribúcia kanálov pre jednotlivé uzly, zabrániť kolízii medzi zariadeniami pri vzájomnej komunikácii, spravovať všetky potrebné informácie pri smerovaní údajov do správneho zariadenia v sieti. Dostupné kanály v Európa sú v rozmedzí od 1 do 13, ale úplne neprekrývajúce sú z nich len (1, 6, 11). Ostatné kanály majú medzi sebou určitý priestor, ktorým sa prekrývajú. Ďalším typom siete je ad-hoc, kde nie je AP a každé jedno zariadenie si je rovnocenné. Každé zariadenie potrebuje zistiť informácie ako je obsadené spektrum okolo neho preto musí vykonať vlastné snímanie spektra. Počas tohto snímania zistí prevádzku v okolí, ako sú použité jednotlivé kanály. Snímanie vo Wi-Fi sieťach je založené na spôsobe ako sa získajú všetky dôležité informácie z iných zariadení:

- aktívne snímanie spektra,
- pasívne snímanie spektra.

Aktívne snímanie vysiela a prijíma frame iba na vyžiadanie (demand), jednou z výhod je zníženie počtu riadiacich rámcov potrebných posilať medzi zariadeniami. Snímanie nie je iba o počte rámcov ale aj o rýchlosti ako rýchlo sa údaje pozbierajú a tiež ich spracovanie. Zhromažďovanie dôležitých informácií v aktívnej metóde je aj o spotrebe energie potrebnej na vyslanie požiadavky na zariadenie, ktoré nemusí byť ani v dosahu zariadenia a tiež môže nastať situácia kedy nebude v okolí zariadenia žiadne iné zariadenie a jeho požiadavka bola vyslaná zbytočne. Zariadenie si nastaví frekvenciu kanálu, po ktorom vysiela request frame do okolia jeho dosahu. Počká či dostane odpoveď na túto jeho požiadavku na danom kanály. Ak existuje AP (prípadne rovnaké uzly v ad-hoc sieti) na tomto kanále musia odpovedať na túto požiadavku okamžite pomocou response frame. Tento frame obsahuje informácie o uzle [4] [5].

Pasívne snímanie ako už názov hovorí zariadenie len počúva okolie a získava beacon frame, ak existuje nejaké zariadenie alebo komunikácia v jeho okolí. Toto šetri pomerne veľa energie zariadenia. Snímanie začína na 1. kanále a končí na 13. kanáli (Obr. 1). Zariadenie musí nastaviť frekvenciu kanála následne zotrvať určitý čas (listen time). Počas tohto obdobia beacon frame sa

prenášaný z AP (alebo rovnakého uzla v ad-hoc sieti). Beacon frame sa prenáša iba v určitom čase pravidelne sa opakujúcom. Tento čas sa nazýva čas prenosu cieľového signálu (target beacon transmit time - TBTT) Ide o spôsob ako ušetriť energiu zariadenia, rovnako sa môžu zariadenia pohybovať. Čas medzi vysielaním beacon framu sa používa na odosielanie dát medzi zariadeniami s už úspešným pripojením. Každé zariadenie sa prebúdzá (awake) v beacon interval kedy je vysielaný beacon a to broadcastovo pre všetky zariadenia. Veľmi podobné to je aj pri Ad-hoc sieťach, kde nie je prítomný žiadny AP. Parameter IBSS má iba jednu úlohu a to informovať o prevádzke (oznámenie traffic indication map - ATIM) na základe týchto informácií každé zariadenie vie, kedy sa musí prebudiť a počúvať pre prijatie beacon frame. Snímanie je dôležité v mobilnom telefónnej sieti, kde sú uzly prostredníctvom handoff pripojené k AP podľa ich dosahu (intenzita signálu). Snímanie spektra nie je len orientované na nájdenie dostupného kanála prostredníctvom dostupnej metódy, ale aj o časových intervaloch. Intervaly sú veľmi dôležité väčšinou v bezdrôtovej sieti, najmä v ad-hoc sieti, kde je každé zariadenie rovnocenné a ktoré musia vyplniť tabuľky s informáciami o uzloch v dosahu daného zariadenia.



Obr. 1 Wi-Fi kanály s troma neprekrývajúcimi sa kanálmi

### B. Časové intervaly pri snímaní spektra

Bezdrôtové siete musia mať časové intervaly medzi jednotlivými frame dátami, inak bude frame prijatý uzlami ako zhuk dát s nemožným rozpoznaním len užitočných dát. Výsledok nečitateľných údajov je požadovanie opätovného vysielania rovnakých dát, to povedie k zahlteniu siete v dôsledky s opakovaného posielania dát. Časové intervaly prinášajú istý poriadok do odosielania framov v sieti. Intervaly pozostávajú z časových úsekov a sú rozdelené:

- PHY určuje: krátky interframe space (SIFS).
- PHY určuje: slot time.
- Prioritný interframe space (PIFS).
- Distribuovaný interframe space (DIFS).
- Rozšírený interframe space (EIFS).

Na základe trvania je najkratší SIFS a najdlhším je EIFS. Prvý SIFS sa používa medzi signalizačnými rámcami v systéme RTS/CTS procesu pripojenia alebo uskutočnenia odosielania dát po úspešnom procese pripojenia. EIFS sa používa len vtedy ak sa vyskytne chybný frame. Doba trvania PIFS je SIFS s ďalším jedným slotom. DIFS je dlhší a pozostáva zo SIFS trvania s ďalšími dvoma časovými intervalmi. Trvanie každého časového intervalu závisí od spôsobu modulácie. Zvyčajne používané sú FHSS (Frequency Spread Spread Spectrum), OFDM (Multiplexovanie ortogonálnej frekvenčnej divízie), DSSS (priamy Spread Spread Spectrum).

Okrem týchto hlavných intervalov medzi radiaciami signálmi komunikácie, prípadne odosielaním dát existuje náhodný backoff interval. Interval je zodpovedný za poriadok pri prístupe ku komunikačnému médiu. Interval generuje počet časových slotov, počas ktorých musí zariadenie čakať, následne bude možné pripojiť sa k médiu. To znižuje počet zariadení s prístupom v rovnakej frekvencii ku kanálu v systéme v rovnakom čase.

## IV. PRIRADENIE FREKVENČNÉHO KANÁLA V CR-MANET

V klasickej bezdrôtovej Wi-Fi sieti vykonáva všetky dôležité rozhodnutia ruter. Ide napríklad o pridelenie frekvenčného kanálu, časovú synchronizáciu medzi uzlami a podobne. Prvý krokom pre úspešnú konektivitu s rutrom je skenovanie frekvenčného spektra na obdržanie beaconu od všetkých rutrov v dosahu. Následne je uzlom zvolený ruter na výmenu požiadavky a probe rámec medzi nimi. Po všetkých nadchádzajúcich úspešných krokoch spojenia je vytvorená komunikácia medy rutrom a uzlom a komunikácia stále prebieha na tom istom zvolenom kanále. Tento kanál je volený rutrom vo Wi-Fi sieti. Trocha odlišný typ siete je tvorený pomocou CR technológie, kde sú kanály menené na základe aktivity primárneho používateľa ale aj samotných parametrov kanálov. V CR sieťach sú všetky uzly rovnocenné a z toho dôvodu všetky uzly vykonávajú frekvenčné skenovanie a zhromažďovanie všetkých dostupných informácií z daného skenovania vo svojom rádiovom dosahu. Tieto dáta sú analyzované a na základe nich sa volí vhodný komunikačný kanál, ktorý bude vyhradený pre jednotlivé dvojice terminálov. Kvalita odosielaných rámcov je priamo ovplyvnená anténami. Voľby vhodného komunikačného kanála je zložitým problémom, pretože sa treba vyhnúť problémom ako kolíziám, skrytým uzlom alebo znehodnoteným kanálom. Mobilné uzly v CR-MANET sieťach majú schopnosť voľby kanálu

medzi svojimi susedmi. Tieto rozhodnutia sú vykonávané v každom uzle autonómne na základe inteligentných, alebo neinteligentných metód [3][4][5].

#### A. Neinteligentné metódy pridelovania kanála

Každé zariadenie deteguje svojich susedov v rádiovom dosahu. Na základe neinteligentnej alebo náhodnej metódy vyhradenia kanálu sú kanály pridelené k susedným uzlom toho konkrétneho uzla bez ohľadu na interferencie, prostredie, či znovupoužitie kanálu.

#### B. Inteligentné metódy pridelovania kanála

V prípade, že sa zvolí nejaká inteligentná metóda výberu kanálov pre susedné uzly, uzol zohľadní rôzne aspekty, ktoré napomáhajú s výberom frekvenčného kanála. Dôležitá úloha zohrávajú informácie zo snímania frekvenčného spektra, informácie od susedov, či je zvolený kanál použiteľný alebo nie, vypočítajú sa interferencie medzi kanálmi. Keď dvojica uzlov chce vybrať optimálny kanál, musí sa dohodnúť. Sú známe niektoré inteligentné metódy, ktoré sú použiteľné pre výber kanálov. Mobilné uzly môžu byť považované za hráčov a riešenie voľby kanála môže byť výsledkom ich hry. Tento proces je založený na teórii hry a jej rôznych stratégiách hry. Ďalším prístupom k inteligentnému výberu kanálov je rozhodovanie založené na výstupe z fuzzy logiky, kde sú informácie zo snímania spektra vkladane do logiky a na základe špecifikovaných pravidiel sú parametre vstupov vyhodnotené. Každý uzol, ktorý robí proces snímania a implementuje fuzzy logický proces, môže rýchlo a optimálne rozdeliť kanály medzi svojich susedov [6][7].

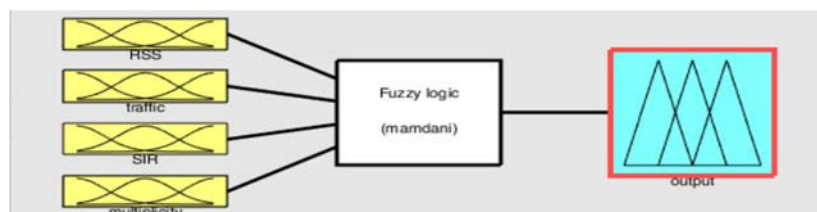
### V. SIMULÁCIE A VÝSLEDKY

V tomto dokumente sa simulujú a porovnávajú neinteligentné a inteligentné metódy pridelovania kanálov pre mobilné uzly v CR-MANET bez PU aktivity. Na priradenie kanálov susedným mobilným uzlom sa používajú dve neinteligentné metódy, náhodné a sekvenčné. Keď bol použitý náhodný proces. Každý uzol si náhodne zvolil kanály pre svojich susedov. Keď niektorý uzol chce nastaviť kanál susedovi, ale sused má nižšie identifikačné číslo, kanál bol nastavený na základe rozhodnutia suseda. Na druhej strane, keď bol použitý sekvenčný proces pridelovania kanálov, každý uzol nastavil kanály na svojho susedu vždy, keď to bolo možné, od nižších kanálov po najvyššie. V prípade, keď dva uzly chceli nastaviť kanál, rozhodnutie bol v uzle s nižším identifikačným číslom.

Bola použitá jedna inteligentná metóda na zlepšenie rozdelenia kanálov v CR-MANET na základe informácií zo snímania spektra. Na účely týchto simulácií bola vybraná fuzzy logika. Výstupy zo snímania spektra boli brané ako vstupné parametre pre proces fuzzyfikácie v logike. Tento inteligentný proces zohľadnil charakteristiky prostredia a využitie kanálov.

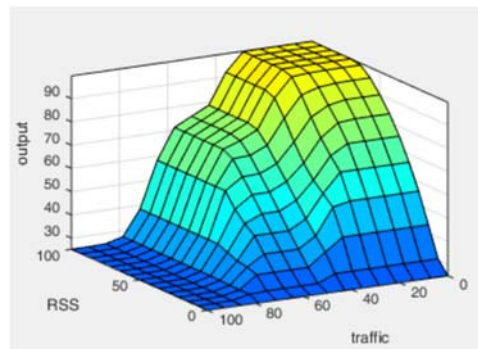
#### A. Rozhodnutia fuzzy logiky na základe snímania spektra

Štyri vstupné parametre (RSS, prevádzka, SIR, opakovanie kanálov v uzle) boli vybraté zo spektrálneho snímania pre lepšie rozhodnutia pridelovania kanálov. Každý vstupný parameter bol definovaný funkciou príslušnosti. Napríklad RSS bol definovaný typom čiary zmf s krivkou "zlé RSS" a typom čiary smf s krivkou "good RSS". Na druhej strane boli pre prevádzku použité tri typy funkcií príslušnosti. "Nízka" podľa zmf, "Stredná" podľa gaussmf a "High" podľa typu distribúcie smf. Bolo nastavených niekoľko pravidiel na prijímanie rozhodnutí zo vstupných parametrov, aby sa urobil hodnoty logických výstupov, ako je daný kanál užitočný pre priradenie (Obr. 2).



Obr. 2 Schéma Fuzzy logiky zo štyrmi vstupmi, časťou fuzzyfikácie, ktorá obsahuje pravidlá a definovaným výstupom

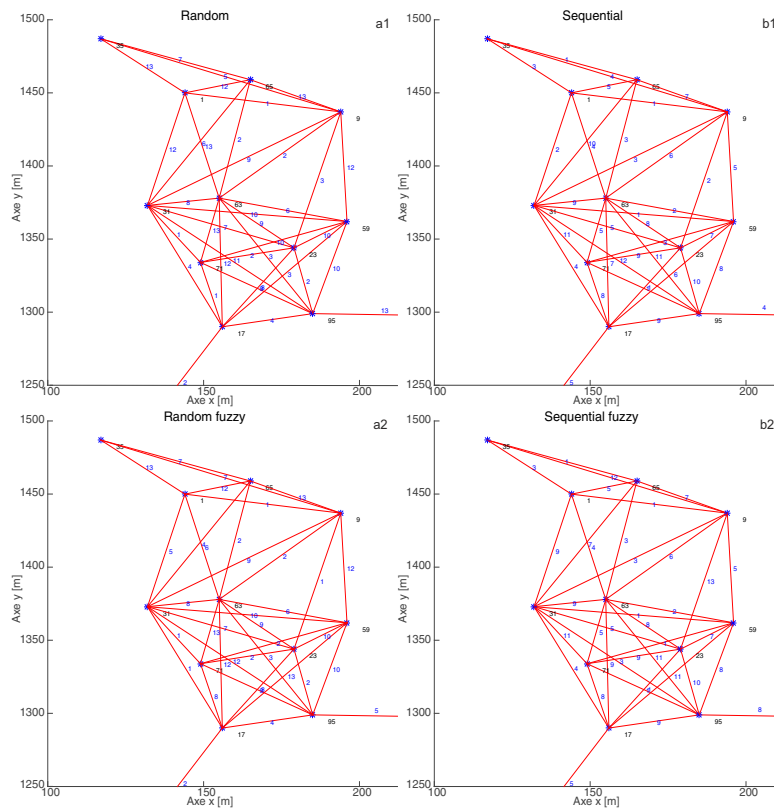
Na základe definovaných pravidiel bol vygenerovaný výstup vo forme 3D grafu. Boli definované tri druhy výstupov: menej vyhovujúci, vyhovujúci a viac vyhovujúci. Tento povrch grafu na Obr. 3 ukazuje, ako vstupné parametre menia výsledné logické rozhodnutie. Pre rozhodnutie Fuzzy logiky bolo definovaných šesť pravidiel. Napríklad, ak RSS-zlé a prevádzka-vysoká, SIR-nevhodné a opakovanie-zlé, tak výstup bol definovaný ako menej-vyhovujúci (modrá farba). V ostatných prípadoch, keď bola definovaný súbor parametrov RSS-dobrý, prevádzka-nízka a SIR-dobré, výstup bol vnímaný ako viac vyhovujúci (žltá farba).



Obr. 3 Trojrozmerný graf výstupu so vstupnými parametrami a aplikovanými pravidlami pre nich

### B. Vyhradenie kanálov pre neinteligentné a inteligentné priradenia

Oblasť simulácie pre sieť CR-MANET bola nastavená na 1500x1500 m. V tejto oblasti bolo umiestnených 100 uzlov. Iba časť siete je zobrazená na Obr. 4 s dvomi neinteligentnými (náhodný - Random a sekvenčný - Sequential) metódami priradeniami kanálov a dvoma inteligentnými rozdeleniami kanálov od neinteligentných po inteligentné na základe informácií o snímaní spektra.

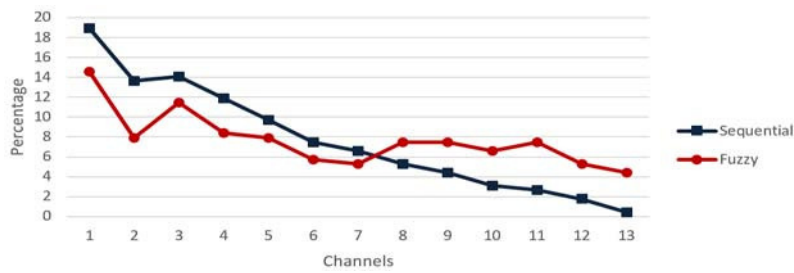


Obr. 4 Grafické priradenie kanálov na základe neinteligentnej náhodnej (a1) a sekvenčnej (b1) metódy a inteligentnej metódy po snímaní a pridelovaní frekvenčného spektra na základe odporúčania fuzzy logiky z náhodnej na inteligentnú (a2) a zo sekvenčnej na inteligentnú (b2)metódu

### C. Použitie kanálov pre neinteligentné a inteligentné metódy priradenia

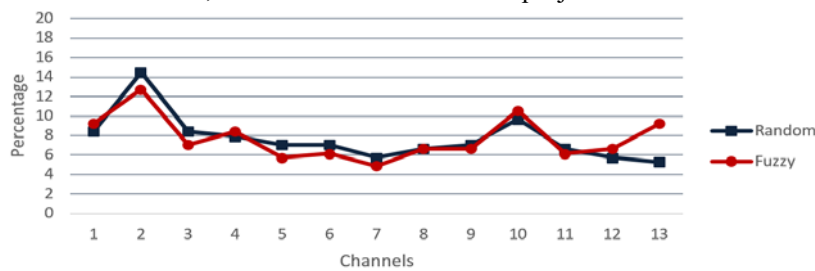
V tomto výsledku sa porovnáva použitie neinteligentného a inteligentného priradenia kanálov na základe spektrálneho snímania a aplikovania fuzzy logiky.

Na Obr. 5 je možné vidieť percentuálny podiel každého kanála pre všetky uzly v sieti. Modrá čiara s políčkami predstavuje percento využitia kanála v celej sieti, kde bolo priradenie kanála prevádzkované sekvenčnou metódou. Na základe grafu je možné vidieť, že sekvenčná metóda priradila kanály s nižším číslom vo väčšom počte ako kanály s vyšším číslom. Po aplikácii inteligentného výberu kanálov je možné vidieť (červená čiara s bodkami), že kanály s vyšším percentuálnym podielom boli menej využívané a na druhej strane kanály s nižším percentuálnym podielom boli viac použité pri porovnaní s neinteligentným postupným priradením kanálov. Inteligentné priradenie kanálov zlepšuje výber kanálov a ich distribúcia je jednotnejšia vzhľadom na snímanie spektra.



Obr. 5 Percentuálny podiel použitých kanálov pre neinteligentnú (Sequential) a inteligentnú (Fuzzy)metódu

Výsledky na Obr. 6 predstavujú podobný scenár ako v predchádzajúcom prípade, ale kanály boli vybrané každým uzlom s neinteligentnou náhodnou metódou (modrá čiara so štvorčkami). Táto metóda poskytuje jednotnejšie rozdelenie kanálov v sieti ako predchádzajúca postupná metóda. Po aplikácii inteligentného priradenia kanálov založeného na snímaní spektra a ďalšom fuzzy logickom mechanizme, červená bodkovaná čiara zlepšuje distribúciu kanálov.



Obr. 6 Percentuálny podiel použitých kanálov pre neinteligentnú (Random) a inteligentnú (Fuzzy)metódu

## VI. ZÁVER A BUDÚCA PRÁCA

Použitie nejakej inteligentnej metódy priradenia kanálov v CR-MANET je užitočné. Na základe snímania spektra je možné vybrať lepší kanál na komunikáciu. V budúcnosti chceme v sieti CR-MANET zahrnúť aktivitu primárneho používateľa so modelom sociálneho pohybu pre mobilné uzly. Chceme aplikovať aj iné inteligentné metódy výberu kanálov.

## VII. POĎAKOVANIE

Táto práca vznikla v spolupráci Ministerstva školstva Slovenskej republiky pod výskumom VEGA 1/0075/15 a podpory COST akcie CA15127 ("Resilient communication services protecting enduser applications from disaster-based failures – RECODIS").

## LITERATÚRA

- [1] F. R. Yu and H. Tang, *Cognitive radio mobile ad hoc networks*. Springer, 2011.
- [2] S. Basagni et al., *Mobile Ad Hoc Networking – The Cutting Edge Directions*, John Wiley & Sons, DOI:10.1002/9781118511305, 2013.
- [3] G. Castignani, N. Montavont, and A. Arcia-Moret, "Analysis and evaluation of WiFi scanning strategies," *Proceeding of IV Cibelec*, pp. 3–7, 2010.
- [4] M. S. Gast, *802.11ac: A survival guide*. "O'Reilly Media, Inc.", 2013.
- [5] M. Gast, *802.11 Wireless networks The definitive guide* "O'Reilly Media, Inc.", 2005.
- [6] S. N. Sivanandam, S. Sumathi, and S. N. Deepa. *Introduction to fuzzy logic using MATLAB*. Vol. 1. Berlin: Springer, 2007.
- [7] I.K. Geckil and L. Patrick. Anderson. *Applied game theory and strategic behavior*. CRC Press, 2016.

# Optický korelátor v systéme identifikácie osôb

<sup>1</sup>Dávid SOLUS, <sup>2</sup>Luboš OVSEŇÍK, <sup>3</sup>Ján TURÁN, <sup>4</sup>Miloš TICHÝ

<sup>1,2,3,4</sup> Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektroniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>1</sup>david.solus@tuke.sk, <sup>2</sup>lubos.ovsenik@tuke.sk, <sup>3</sup>jan.turan@tuke.sk,  
<sup>4</sup>milos.tichy@student.tuke.sk

**Abstrakt** — Tento článok sa zaoberá využitím optického korelátoru v systéme na identifikáciu osôb. Proces identifikácie osôb je založený na porovnávaní odtlačkov dlane s referenčným obrazom uloženým v referenčnej databáze. Na porovnávanie týchto obrazov sa používa práve Cambridge optický korelátor, ktorý využíva najrýchlejšie prenosové médium, a to je svetlo. Výhodou tohto zariadenia je veľká rýchlosť spracovania dát v reálnom čase. Navrhnutý systém obsahuje experimentálnu databázu obrazov, pričom porovnávané obrazy sú získané z integrovanej kamery v laptope.

**Kľúčové slová** — Cambridge optický korelátor, optická korelácia, porovnávanie obrazov

## I. ÚVOD

Rozpoznávanie obrazov je jednou z najstarších oblastí výskumu v rámci výpočtovej techniky. Hovoríme o prostriedkoch, ktoré dokážu rozpoznávať rôzne typy umelých objektov alebo dokonca ľudí. Pri rozpoznávaní ľudí sa využívajú rôzne telesné charakteristiky ako je tvár, hlas, typ chôdze a pod. Tvár je jednou z najstarších charakteristík, ktorá sa využívala pri identifikácií. Od počiatku civilizácie ľudia využívali tváre k identifikácií známych (rodinných príslušníkov) a neznámych (cudzích) ľudí [1].

Cieľom tohto príspevku je predstaviť identifikačný systém osôb, ktorého základom je Cambridge optický korelátor (OC). Princípom navrhnutého systému je porovnávanie vstupných obrazov – dlane rúk, ktoré boli nasnímané (získané) integrovanou kamerou s referenčnou databázou obrazov a vyhodnotenie podobnosti (zhody) medzi jednotlivými obrazmi. Na vyhodnotenie zhody porovnávaných obrazov sa využíva optický korelátor typu Cambridge.

## II. IDENTIFIKAČNÝ SYSTÉM OSÔB S VYUŽITÍM OPTICKÉHO KORELÁTORA

Identifikácia osôb prebieha na základe vstupných biomedicínskych obrazov, v našom prípade obraz dlane ruky, pričom jednotlivé vstupné obrazy sú porovnávané s referenčnými obrazmi uloženými v databáze. Všeobecne pod pojmom biomedicínske obrazy rozumieme obrazy, ktoré sú potrebné pre diagnostické a terapeutické účely. Jednotlivé snímky sa získavajú pomocou senzorov a výpočtovej techniky. Využitie biomedicínskych zobrazovacích technológií je rôznorodé. Niektoré využívajú napr. röntgenové lúče (CT skeny), zvuk (ultrazvuk), magnetizmus (MRI), rádioaktívne farmaceutika (nukleárna medicína) alebo svetlo (endoskopia), aby zhodnotili súčasný stav orgánu alebo tkaniva k včasnej diagnostike a liečeniu.

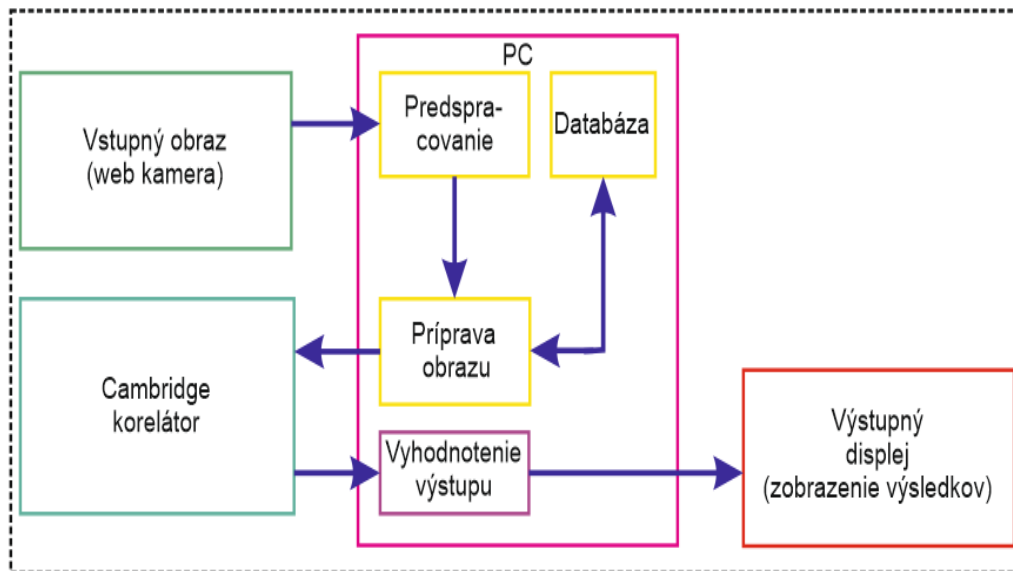
Druhou oblasťou je využitie biomedicínskych obrazov z dôvodu identifikácie. Ide o rôzne biometrické mechanizmy, ktoré identifikujú osobu na základe fyziologických znakov ako je napr. odtlačok prsta, geometria ruky, obraz tváre a pod. V biometrii sa vyžaduje pri identifikácií spracovanie získaného obrazu, ktorý väčšinou porovnávaný s referenčným obrazom uloženým v databáze. Výhodou tejto technológie je univerzálnosť, jedinečnosť, stálosť, bezpečnosť a praktickosť [1,2].

Úlohou navrhovaného systému je vykonávanie identifikácie pomocou biomedicínskeho obrazu - dlaní rúk. Porovnávanie je realizované na základe geometrie ruky a dlaňových línií, keďže ide o unikátne atribúty pre každú osobu. Systémy založené na geometrii ruky predstavujú najstarší vývoj zo všetkých biometrických metód a sú implementované z dôvodu jednoduchého použitia a integračnej možnosti. Aby daný systém fungoval presne, musí mať vzorka obrazu

porovnávané osoby veľmi jasné a nesfalšovateľné vlastnosti [3,4].

Bloková schéma navrhnutého identifikačného systému pozostáva zo 4 blokov (Obr. 1):

- získanie vstupného obrazu,
- blok PC, ktorý sa skladá z ďalších 4 softvérových blokov:
  - a) predspracovanie,
  - b) databáza,
  - c) príprava obrazu,
  - d) vyhodnotenie výstupu.
- Cambridge optický korelátor,
- zobrazenie výsledkov na výstupnom displeji.



Obr. 1 Bloková schéma navrhnutého systému.

#### A. Vstupná kamera

Vstupná kamera je integrovaná web kamera laptopu. Pre kvalitný vstupný obraz dlane je potrebné zaostrenie analyzovanej časti obrazu, aby jednotlivé časti ako sú obrisy ruky boli čo najkvalitnejšie. Z tohto dôvodu neboli niektoré obrázky nasnímané na prvýkrát, ale až opakovane. Samotné obrázky boli snímané pred laptopom, preto bolo potrebné, aby vstupné obrázky neboli zašumené časťami, ktoré by mohli znížiť kvalitu simulácie. Pre kvalitnejšie vstupy bolo taktiež potrebné vykonávať snímanie v presvetlenej oblasti, aby bol viditeľnejší rozdiel popredia a pozadia spracovávaného obrazu [5].

#### B. Počítač

Ako je viditeľné na Obr. 1, blok PC je zložený z ďalších 4 softvérových blokov, ktorých úlohou je predspracovanie vstupných obrazov pre samotné porovnanie pomocou OC.

##### Predspracovanie

Úlohou tejto softvérovej časti je úprava nasnímaného vstupného obrazu do požadovanej úrovne, keďže pôvodný obraz nemá vhodné parametre, aby mohla byť vykonávaná simulácia pomocou OC. Hovoríme najmä o unikátnych atribútoch, ktoré sa budú porovnávať, obrisy rúk (geometria). Na takúto úpravu obrazov sa využíva objektovo-orientovaný programovací jazyk C#.

##### Databáza

Ďalším v poradí softvérovým blokom je databáza. Ide v podstate o zozbierané informácie usporiadané takým spôsobom, pri ktorom počítačový program dokáže rýchlym spôsobom vybrať požadovanú časť dát. Databázu teda môžeme chápať ako elektronický systémový archív. V našom prípade boli v databáze uložené referenčné biomedicínske obrázky. Tieto referenčné obrázky dlaní boli porovnávané so vstupným obrazom, ktorý zosníma kamera. Databázu tvoria obrázky, ktoré boli vyselektované podľa pohlavia.



### *Príprava obrazu*

Dôležitá softvérová časť, ktorej úlohou je príprava obrazu už na samotnú simuláciu. Ide o proces, pri ktorom sa analyzuje a vyberá oblasť záujmu (výskyt ruky v obraze). Dôležité je, aby sa zhodovalo rozlíšenie vstupného obrazu s rozlíšením referenčných obrazov, odstránenie dodatočného šumu, ak k tomu nedošlo v procese predspracovania. Ak sú pripravené a dodržané všetky parametre spracovávaných obrazov, tak sú obrazy posielané do OC na samotné porovnávanie.

### *Vyhodnotenie výstupu*

Bloková časť PC, ktorá má za úlohu prijímať údaje zo samotného OC, vyhodnocovať ich a posilať ich na výstupný displej. Ide predovšetkým o informácie, ktoré hovoria o veľkosti intenzity korelačných špičiek, na základe ktorých sa vyhodnotí korelácia porovnávaných obrazov. Veľkosť intenzity  $I$  porovnávaných obrazov je vypočítaná podľa nasledujúceho vzťahu:

$$I[\%] = \left(\frac{IKL}{255}\right) * 100. \quad (1)$$

Intenzita korelačných špičiek (IKL) sa pohybuje na intervale  $\langle 0,255 \rangle$ . Hodnota 0 znamená, že medzi obrazmi nie je žiadna podobnosť, no pri hodnote 255 môžeme hovoriť o identickosti obrazov [3,6].

### *C. Optický korelátor*

V procese rozpoznávanie sa používa OC, ktorý využíva technológiu optického spracovania. Tento OC patrí do skupiny JTC (Joint Transform Correlator), ktorý využíva spojenú transformáciu, kde je proces optickej korelácie tvorený dvoma po sebe nasledujúcimi Fourierovými transformáciami. CC sa používa na porovnávanie vstupných obrazov s referenčnými obrazmi na základe ich podobnosti. Optický výstup obsahuje vysoko lokalizované korelačné špičky a ich intenzita vyjadruje mieru podobnosti obrazov na vstupne. Poloha korelačných špičiek je rovnaká ako poloha vstupných obrázkov. Korelátor obojsmerne komunikuje s blokom PC a to tak, že vstupné a referenčné obrazy prijíma zo softvérového bloku *Príprava obrazov* a jednotlivé informácie o korelácií bude odosielať do softvérového bloku *Vyhodnotenie výstupu* [3,7,8].

### *D. Výstupný displej*

Posledným blokom v navrhnutom systéme je výstupný displej, ktorý slúži na zobrazenie výsledkov. Ide o finálnu fázu, pri ktorej sa nahromadené údaje z predošlých blokov zobrazia na displeji.

Hardvérová schéma navrhnutého identifikačného systému je zložená z nasledujúcich komponentov:

- integrovaná kamera,
- Cambridge korelátor,
- výstupný displej.

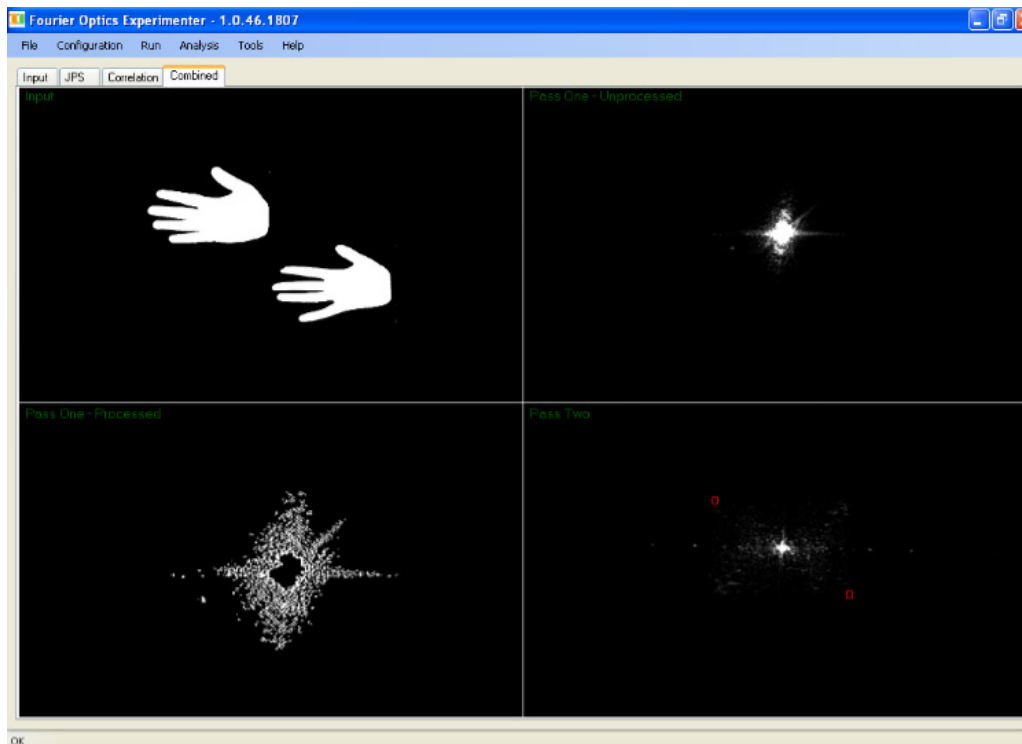
## III. EXPERIMENTÁLNE OVERENIE NAVRHNUTÉHO SYSTÉMU

Na porovnávanie sa využívali vstupné obrazy dlaní, pričom samotnú porovnávaciu časť vykonával OC. Na experimentálnu časť sa využíval balík FOE (Fourier Optics Experimenter), ktorý umožňuje študentom preskúmať prakticky celú oblasť tém venovaných optickej Fourierovej transformácii. Samotné rozhranie FOE obsahuje štyri okná:

- Input – vstup (určený napr. pre obrazy, ktoré porovnáваме),
- JPS – spojené výkonové spektrum,
- Correlation – korelácia obrazov.
- Combined – kombinácia predchádzajúcich troch okien (Obr. 2).

Vstupné obrazy sa získali pomocou integrovanej web kamery a pomocou programu pre predspracovanie obrazu upravili do podoby, aká je potrebná pre samotnú simuláciu. Z jednotlivých výsledkov korelácie, t.j. intenzita korelačných špičiek, sa vypočítal priemer, pričom údaje boli zapísané do jednotlivých tabuliek.

Experimentálna časť obsahuje tridsať experimentov, pričom každý experiment obsahuje sto meraní. Pre časť s rovnakými obrazmi bolo vykonaných jedenásť experimentov, a pre časť s rozdielnymi devätnásť experimentov [3,9].



Obr. 2 Fourier Optics Experimenter

*A. Experiment s rovnakými obrazmi na vstupe*

V prvom experimente sa porovnávali rovnaké obrazy. Vykonalo sa jedenásť experimentov, pričom každý experiment obsahoval sto meraní. Jednotlivé údaje sme postupne zapisovali do tabuľky (Tab. 1). Intenzita korelačných špičiek sa pohybovala na úrovni  $\langle 0,255 \rangle$ .

Tab 1  
 Výsledné hodnoty prvého experimentu

Číslo experimentu	Priemerná hodnota	Percentuálna podobnosť [%]
1.	0,8911	89,11
2.	0,8859	88,59
3.	0,9333	93,33
4.	0,9333	93,33
5.	0,9319	93,19
6.	0,9325	93,25
7.	0,9315	93,15
8.	0,9325	93,25
9.	0,8651	86,51
10.	0,8627	86,27
11.	0,9311	93,11

*B. Experiment s odlišnými obrazmi na vstupe*

V druhom experimente sa vykonávalo porovnávanie rozdielnych obrazov. V rámci tohto merania sa vykonalo devätnásť experimentov. Každý experiment obsahoval taktiež sto meraní. Pre každé jedno meranie vypočítame aritmetický priemer podobností. Všetky tieto údaje sa zapísali do príslušnej tabuľky (Tab. 2).

Tab 2  
 Výsledné hodnoty druhého experimentu

Číslo experimentu	Priemerná hodnota	Percentuálna podobnosť [%]	Číslo experimentu	Priemerná hodnota	Percentuálna podobnosť [%]
1.	0,0061	0,61	11.	0,0228	2,28
2.	0,0036	0,36	12.	0,0826	8,26
3.	0,0008	0,08	13.	0,0117	1,17
4.	0	0	14.	0,0514	5,14
5.	0,0003	0,03	15.	0,0343	3,43
6.	0,0120	1,20	16.	0,0160	1,60
7.	0,0015	0,15	17.	0,0115	1,15
8.	0,0813	8,13	18.	0	0
9.	0,0050	0,50	19.	0,1146	11,46
10.	0,0526	5,26			

#### IV. ZÁVER

Tento článok sa zaoberal návrhom identifikačného systému osôb s využitím OC. Ide o biometrický systém, ktorý využíva geometriu rúk na prípadnú identifikáciu, pretože je to unikátny atribút každého jednotlivca. Dôležitou časťou tohto systému je samotný OC, ktorý zisťuje podobnosť vstupných obrazov a obrazov, ktoré sú uložené v databáze.

Vykonalo sa spolu tridsať experimentov, pričom každý experiment obsahoval sto meraní. Z jednotlivých získaných údajov sme vyhodnotili percentuálnu podobnosť porovnávaných obrazov. Vykonali sme jedenásť experimentov pre rovnaké obrazy a deväť experimentov pre rozdielne obrazy. Podobnosť rovnakých obrazov sa pohybovala na úrovni 86 – 94 %. Ide o vysokú hodnotu, čo sme aj pred meraním predpokladali. Pri experimentoch s rozdielnymi obrazmi sme dosahovali podobnosť na úrovni 0 – 12 %. Nulovú hodnotu sme dosahovali, keď sme porovnávali napr. ženskú a mužskú ruku, teda keď sa nepodobali ani z hľadiska obrysov, ani z hľadiska veľkosti rúk. Vyššiu hodnotu, t.j. 12% sme dosahovali pri porovnávaní rúk rovnakého pohlavia. Podobnosť mohla predstavovať geometriu prstov alebo samotnú veľkosť rúk.

Takýto navrhnutý systém predstavuje koncept, ktorý by mohol mať uplatnenie v budúcnosti, najmä pri identifikácii a verifikácii. Na rozpoznávanie využíva OC, pričom v kombinácii viacerých atribútov, nielen geometrie rúk, ale aj dlaňové línie alebo virtuálne snímky zobrazujúce štruktúru žíl rúk by mohli predstavovať účinný identifikačný systém.

#### POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou (KEGA) Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky na základe projektu č. 023TUKE-4/2017. Táto práca je tiež výsledkom zmluvy č. VEGA 1/0772/17 - Lokalizácia osôb na základe detekcie ich vitálnych funkcií UWB senzormi krátkého dosahu.

#### LITERATÚRA

- [1] R. R. Sokal, F. J. Rohlf. "The Principles and Practice of Statistics in Biological Research". W.H. Freeman and Company, 2012. ISBN 978-0-7167-8604-4.
- [2] Gaur Kalpana. "Biometric Identification Techniques". Tutorialspoint.
- [3] Cambridge Correlators. <http://www.cambridgecorrelators.com/optical.html>, May 2017.
- [4] P. Ams. "Optical Computing: A 60-Year Adventure," in *Advances in Optical Technologies*. 2010, vol. 2010, Article ID 372652, 2010. doi:10.1155/2010/372652.
- [5] A. Layton, R. Marsh. "Object distance detection using a joint transform correlator," in *IEEE International Conference on Electro Information Technology*. 2016, no. 7535326, pp. 707-709. DOI: 10.1109/EIT.2016.7535326.
- [6] Cambridge Correlators. Fourier Optics Experimenter, User Guide.
- [7] T. Harashty, Ľ Ovseník, J. Turán. "Current summary of the practical using of optical correlators," *FEI TUKE*, 2008. ISSN 1335-8243.
- [8] D. Solus: "Optical Correlator in Image and Video Processing Systems," in *SCYR 2015: 15th Scientific Conference of Young Researchers*. Košice: TU, 2015, pp. 96-99. ISBN 978-80-553-2130-1.
- [9] D. Solus, Ľ. Ovseník, J. Turán. "Signal processing - object detection methods with usage of optical correlator," in *Radioelektronika 2016*. Danvers: IEEE, 2016, pp. 315-318. ISBN 978-1-5090-1673-0.

# Možnosti merania viditeľnosti pre experimentálny FSO/RF hybridný systém

<sup>1</sup>Michal MÁRTON, <sup>2</sup>Luboš OVSENÍK, <sup>3</sup>Ján TURÁN, <sup>4</sup>Michal ŠPES

<sup>1,2,3</sup>Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>4</sup>Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>michal.marton@tuke.sk; <sup>2</sup>lubos.ovsenik@tuke.sk; <sup>3</sup>jan.turan@tuke.sk; <sup>4</sup>michal.spes@tuke.sk

**Abstrakt** — Zmena dohľadnosti v FSO (Free Space Optics) systéme má dominantný vplyv na kvalitu prijatého optického signálu. Preto je nevyhnutné monitorovať tento parameter, ktorý je veľmi dôležitý pre rozhodovanie pri prepínaní medzi primárnou optickou prenosovou linkou a záložnou linkou. Tento článok pojednáva o možnostiach merania tohto parametru a analýzy dohľadnosti pre oblasť TUKE, kde je spomínaná technológia implementovaná. V súčasnosti prebieha aj meranie iných parametrov, ktoré by mohli zlepšiť možnosti prepínania. Prepínanie optickej a rádiovkej linky prebieha v reálnom čase v závislosti od hodnôt reprezentujúcich dohľadnosť. Pokúsim sa popísať rôzne možnosti skúmania jedného parametra indikujúceho zmenu počasia. Tento kľúčový parameter je dohľadnosť. Rôzne prístupy k meraniu ponúkajú rozdielne rýchlosti spracovania a vyhodnocovania údajov. Rýchle a presnejšie prepínanie nám vytvorí podmienky pre stabilný systém s minimálnou možnosťou vzniku výpadku.

**Kľúčové slová** — FSO, meranie dohľadnosti, spoľahlivosť

## I. ÚVOD

Predpoveď zmien počasia je v súčasnosti na vysokej úrovni. Meteorologické zariadenia, ktoré umožňujú dosiahnuť presné, aktuálne zmeny počasia sú široko používané a dostupné. Pre FSO systém je veľmi dôležité zabezpečiť stabilné komunikačné spojenie či už prostredníctvom primárnej optickej linky, alebo sekundárnej záložnej linky. Toto je nevyhnutné z hľadiska poznatkov o prenose optických signálov voľným prostredím. Pri tomto prenose dochádza ku dvom typom interakcií prenášaného svetla s časticami vyskytujúcich sa v atmosfére. K prvému typu interakcií v atmosfére dochádza vtedy, keď rozprestretý optický lúč interferuje s aerosólmi a molekulami vyskytujúcimi sa v atmosfére. Druhý typ atmosférických interakcií predstavuje chvenie optického lúča a je zapríčinený fluktuáciou intenzity vyžiareného optického lúča. Tieto nelineárne javy majú dominantný vplyv na kvalitu prenášaného optického signálu medzi optickými FSO terminálmi, ktoré tvoria experimentálnu optickú komunikačnú linku. V prípade výskytu zlého počasia (hmla, dážď, sneženie a iné), kedy použitie FSO linky nie je možné, alebo straty na prenosovej trase sú veľké je nevyhnutné použitie záložnej linky. Koncentrácia vyskytujúcich sa atmosférických častíc je veľmi premenlivá a každá častica vyskytujúca pri rôznom type počasia má inú dĺžku života. Malé atmosférické častice majú veľmi dlhú dĺžku života a pre väčšie častice je charakteristická omnoho kratšia doba, pokiaľ nezaniknú. Interakcia optických lúčov s atmosférickými časticami vytvára jav, ktorý nazývame aj rozptyl. Známe typy rozptylov sú Mieho a Rayleighov rozptyl. Predchádzanie vzniku interakcie optických lúčov s atmosférickými časticami vyžaduje minimalizovanie nasadzovania FSO liniek v prípade výskytu veľmi zlých podmienok na prenos a v aplikáciách, kde nie je možné zabezpečiť LOS (Line of Sight) priame optické spojenie bez prekážok. Prepínanie medzi primárnou FSO linkou a sekundárnou záložnou linkou musí byť veľmi rýchle a adaptívne. Preto je veľmi dôležité monitorovať počasia. My monitorujeme poveternostné podmienky pre FSO spoj aplikovaný na TUKE. Jedným z najdôležitejších parametrov pre zabezpečenie stabilného FSO spojenia je viditeľnosť alebo tiež aj dohľadnosť. Rozdielne možnosti monitorovania tohto parametru sú hlavným prínosom tohto článku [1].

## II. VPLYV POČASIA NA FSO SYSTÉM

Druhy počasia najviac vplývajúce na kvalitu prijímaného optického signálu pri FSO systéme sú opar, hmla a hustá hmla. Vplyv jednotlivých druhov počasia je pre každú vlnovú dĺžku rozdielny. Interakcia atmosférických častíc s optickým lúčom má za následok nárast tlmenia pozdĺž prenosovej trasy a v niektorých prípadoch to môže viesť až k zániku toho lúča. Nárast tlmenia na prenosovej trase a znížená hodnota prijatého výkonu indikuje zlé poveternostné podmienky. Dostupnosť je daná vzťahom (1).

$$T_v(s) = \frac{I_v(s)}{I_{v,0}} = e^{-\beta_v s}, \quad (1)$$

vo vzťahu, kde (1)  $\beta_v$  vyjadruje koeficient zániku optického lúča zapríčineného absorpciou aerosólov, molekulárnou absorpciou a rozptylom molekúl [1].

Tabuľka 1 Typické hodnoty pre  $\beta_v$  [1]

Typ počasia	Jasno	Oblačnosť	Hmla	Hustá hmla
$\beta_{v,s} [km^{-1}]$	0,1	1,0	>10	391

S použitím hodnôt pre  $\beta_v$  podľa Tabuľky 1 je možné určiť hodnotu útlmu. Kanálové straty na prenosovej ceste sú reprezentované prostredníctvom útlmu vyjadreného v jednotkách dB. Útlm pre jednotlivé typy počasia bol vyjadrený prostredníctvom rovníc (2-5).

V prípade veľmi dobrých poveternostných podmienok pri prenose je hodnota útlmu na prenosovej trase rovná 0,22dB. Pod veľmi dobrými podmienkami uvažujeme čistú oblohu bez oblačnosti. Útlm je uvažovaný pre vzdialenosť 500m, ktorú používa FSO systém nasadený v areáli TUKE.

$$L_a = 10 \log_{10}(T) = 10 \log_{10}(e^{-0.1 \cdot 0.5}) = -0.22dB \quad (2)$$

Pri oblačnosti je hodnota útlmu určená prostredníctvom vzťahu (3) pri rovnakej vzdialenosti.

$$L_a = 10 \log_{10}(T) = 10 \log_{10}(e^{-1 \cdot 0.5}) = -2.17dB \quad (3)$$

Útlm pre hmlu a hustú hmlu je určený prostredníctvom vzťahov (4) a (5). Uvažovaná vzdialenosť je rovnaká, ako pre predchádzajúce prípady:

$$L_a = 10 \log_{10}(T) = 10 \log_{10}(e^{-10 \cdot 0.5}) = -21.71dB, \quad (4)$$

$$L_a = 10 \log_{10}(T) = 10 \log_{10}(e^{-391 \cdot 0.5}) = -849.05dB. \quad (5)$$

Výsledky poukazujú na vzťah medzi atmosférickými časticami a ich interakciou s prenášanými optickými lúčmi, pričom vzniká útlm na prenosovej linke, ktorý môže v niektorých prípadoch spôsobiť zánik optického lúča. Významným rozptylom pre FSO systémy je Mieho rozptyl, ktorý vplýva na kvalitu SNR (Signal to Noise Ratio), pretože nezávisí na vlnovej dĺžke prenášaného svetla. Teda jeho vzniku sa nedá predchádzať [1-3].

### III. MODEL EXPERIMENTÁLNEHO FSO SYSTÉMU

FSO systém používa na komunikáciu plne duplexný prenos. V súčasnosti sú FSO systémy veľmi populárne, pretože umožňujú spojenie viacerých bodov a tým vytvorenie komunikačnej siete a to aj v oblastiach, kde nie je možné nasadenie štandardných optických vlákien alebo toto nasadenie sa považuje za neefektívne z hľadiska ceny. Vzdialenosť medzi dvoma terminálmi môže byť v rozsahu od niekoľko desiatok metrov až do niekoľko kilometrov. Komunikácia prostredníctvom použitia optického lúča šíreného sa v atmosférickom prenosovom kanáli ponúka veľa výhod čo v konečnom dôsledku robí z FSO systému atraktívny systém. Prenosová rýchlosť, prenos v nelicencovanom pásme, aplikácia bez nutnosti nasadzovania drahých optických komponentov a optických vlákien sú len niektoré z výhod, ktoré FSO systém ponúka [4].

Takýto FSO systém je nasadený v areáli TUKE, kde jedna hlavica je umiestnená na 1. poschodí budovy na ulici Vysokoškolskej 4 a druhá hlavica je umiestnená na hlavnej budove na ulici Letná 9, trakt A. Použité optické terminály sú typu Flightstrata 155E a obsahujú 4 optické lasery, 4 optické šošovky na detekciu prijatého optického signálu. Pracovná vlnová dĺžka je 850nm. Systémy s väčším počtom laserov sú z hľadiska prenosu stabilnejšie oproti systémom s jedným optickým laserom. V Tabuľke 2 sú zobrazené parametre optického terminálu [5].

Tabuľka 2 Parametre použitého terminálu pre FSO systém [5]

Lightpointe Flightstrata 155E	
Parameter	Hodnota
Vlnová dĺžka	850nm
Vyslaný výkon	160mW
Prijatý výkon (Citlivosť)	-30dBm
Priemer detekčnej šošovky	8cm
Šmerovosť	2mrad

#### IV. MOŽNOSTI MERANIA DOHĽADNOSTI

S poznatkom nutnosti zabezpečenia stability FSO systému je nevyhnutné monitorovať počasie a predikovať jeho správanie. Dve možnosti profesionálneho monitorovania v súčasnosti na základe, ktorých je možné monitorovať zmeny počasia sú založené na nasadení presných meracích systémov. Existujú dve známe profesionálne zariadenia, ktoré dokážu merať dohľadnosť. Na základe poznatkov o týchto systémoch je možné navrhnúť vlastný systém monitorovania zmien počasia. Zariadenia na monitorovanie dohľadnosti sa nazývajú transmisiometre. Tieto zariadenia sú používané na letiskách a profesionálnych meteorologických stanicích.

Jedným z týchto zariadení je aj transmisiometer MITRAS navrhnutý firmou Vaisala vo Fínsku. Toto zariadenie bolo navrhnuté pre monitorovanie dráhovej dohľadnosti pre letiskové potreby. Zariadenie je založené na prenose optického signálu medzi vysielačou a prijímacou stanicou, pričom rozhodujúci je útlm šíreného signálu. Získané výsledky sú konvertované do tvaru meteorologického optického dosahu (MOR - Meteorological Optical Range). Toto zariadenie ponúka merací rozsah od 40 do 2000m je možné aplikovať v režime prenosu typu bod – bod alebo bod – multibod [6].

Druhým zariadením je transmisiometer LT31, ktorý je založený na princípe zariadenia MITRAS, avšak jeho konštrukcia zohľadňuje viaceré rozdielne kritéria. Predpoklad je, že toto zariadenie je alternatívou pre predchádzajúce, pričom by ho mohlo v budúcnosti nahradiť. Ponúka rozšírený merací rozsah od 10 do 10 000m s vysokou spoľahlivosťou. Dosahuje vyššej efektivity oproti zariadeniu MITRAS nakoľko dokáže pokryť väčšiu oblasť, avšak za cenu vyšších obstarávacích nákladov. Zariadenie používa meranie hodnoty spätne odrazeného výkonu, pri použití LED lasera vysielajúceho biele svetlo. Biele svetlo je vhodnejšie na prenos z hľadiska náchylnosti na rušenie. Táto metóda bola tiež patentovaná firmou Vaisala [7].

#### V. MERANIE DOHĽADNOSTI NA TUKE

Profesionálne transmisiometre ako MITRAS a LT31 sú veľmi drahé a ich nasadzovanie je poväčšine len na letiskových meteorologických stanicích, alebo profesionálnych meteorologických stanicích ako napr. SHMU (Slovenský Hydrometeorologický Ústav). My analyzujeme iné možnosti výpočtu a monitorovania viditeľnosti. Jedna z možných metód je monitorovanie výskytu hmly na základne spracovaných nameraných hodnôt. Nízke hodnoty prijatého optického výkonu značia nárast útlmu na prenosovej trase, pričom tento útlm vzniká v prípade výskytu hmly. Veľmi dôležitý parameter pre hmlu je LWC (Liquid Water Content), ktorý reprezentuje množstvo výskytu kvapalných častíc v ovzduší. Rôzne typy hmiel sú reprezentované inými útlmovými modelmi, pričom pre každý model je hodnota parametra LWC rozdielna. My v súčasnosti monitorujeme niektoré parametre počasia ako hmla, relatívna vlhkosť vzduchu a teplota [8].

Bolo navrhnuté a vytvorené zariadenie na meranie LWC vo vzduchu, ktoré indikuje hmlu. Hmla má dominantný vplyv na kvalitu prenášaného optického signálu pri použití FSO technológie, kde ako prenosové médium je uvažovaný atmosférický kanál. Atmosférický kanál obsahuje častice vody s priemerom okolo 100nm. Skúmaný parameter LWC je vyjadrený v jednotkách  $g/m^3$  [9-11].

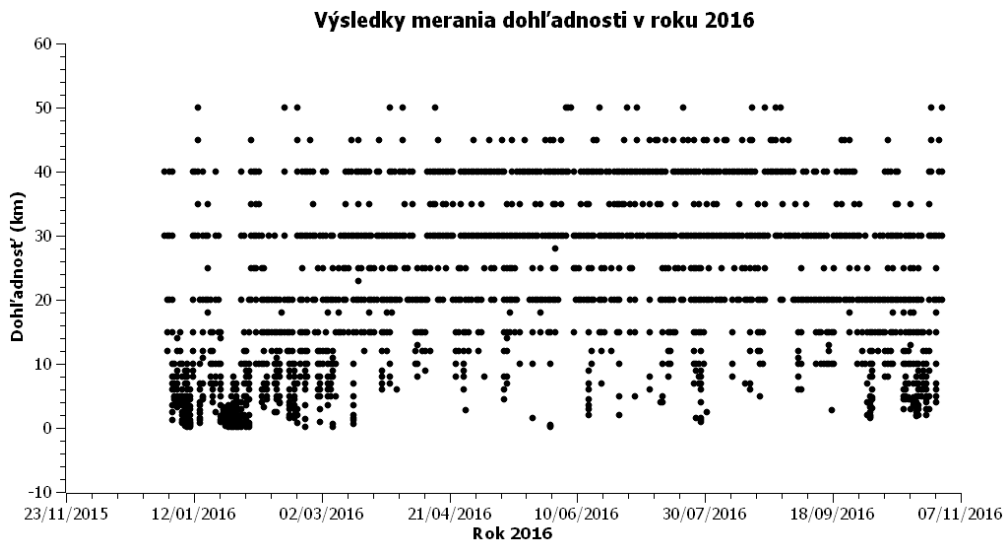


Obr. 1 Hardvérová konfigurácia senzora umožňujúceho monitorovať výskyt hmly

Na Obr. 1 je zobrazený senzor, ktorý umožňuje merať LWC na základe ktorého je možné identifikovať výskyt hmly. Tento senzor je zložený z dvoch častí. Prvá časť je vonkajšia jednotka, kde sú umiestnené senzory, ktoré merajú čiastočky v ovzduší. Získané dáta sú následne smerované do časti spracovania, kde prebieha konverzia zozbieraných dát do PC. Táto konverzia prebieha s použitím RS 422 a RS 232 prevodníkov. Prepojenie jednotky riadiacej spracovávanie údajov je zabezpečené prostredníctvom prevodníka RS 232.

#### VI. VÝSLEDKY MERANIA DOHĽADNOSTI PRE SLEDOVANÚ OBLASŤ

Dosiahnuté výsledky pre meranie dohľadnosti boli spracované a vyhodnotené a zodpovedajú pre oblasť Košice – Letisko. Zber dát prebiehal v periodických intervaloch. Obdobie zberu dát bolo od 1.1.2016 do 31.10.2016. Výsledné hodnoty za rok 2016 sú zobrazené na Obr. 2.



Obr. 2 Výsledné zobrazenie nameraných dát pre rok 2016

## VII. ZÁVER

Pre stabilný FSO komunikačný systém je nevyhnutné zabezpečiť rýchle prepínanie medzi primárnou optickou a záložnou linkou v prípade, kedy sú zlé poveternostné podmienky a počasie výrazne ovplyvňuje útlm na prenosovej trase. Vysokú spoľahlivosť FSO systému je možné dosiahnuť pri dobrej dohľadnosti. Výsledné hodnoty pre dohľadnosť v roku 2016 poukazujú na vysokú dostupnosť použitia FSO systému v tejto oblasti. Hmla v sledovanej oblasti mala len malý vplyv na výpadky prenosovej linky. Dostupnosť pre FSO systém umiestnený v tejto sledovanej oblasti bola určená na 99,9%. Dostupnosť a spoľahlivosť FSO systému závisí hlavne od geografickej oblasti nasadenia. To znamená, že oblasti s vysokým výskytom hmiel a silných oblačností nebudú vhodné pre túto technológiu, avšak jej dostupnosť a nasadenie je podmienené vhodným typom záložnej cesty. Správna voľba vhodnej technológie nasadenej v záložnej linke s rýchlou metódou prepínania umožní nasadenie aj v oblastiach, kde FSO systém nie je momentálne nasadzovaný.

## POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou (KEGA) Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky na základe projektu č. 023TUKE-4/2017. Táto práca je tiež výsledkom zmluvy č. VEGA 1/0772/17 - Lokalizácia osôb na základe detekcie ich vitálnych funkcií UWB senzormi krátkeho dosahu.

## LITERATÚRA

- [1] Majumdar, A., K.: „*Optical and Fiber Communication Reports: Free-Space Laser Communications*“, 2008. ISBN 978-0-387-28652-5
- [2] P. Ivaniga, T. Ivaniga, “*10 Gbps optical line using EDFA for long distance lines*“, Przeglad Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, vol. 93, no. 3, 2017, pp.193-196.
- [3] Jennifer C. Ricklin, Stephen M. Hammel, Frank D. Eaton, Svetlana L. Lachinova.: „*Atmospheric channel effects on free-space laser communication*“, 2006. doi:10.1007/s10297-005-0056-y.
- [4] P. Liptai, M. Moravec, M. Badida.: „*Research of possibilities of using the recycled materials based on rubber and textiles combined with vermiculite material in the area of noise reduction*“ Advanced Materials Research. Vol. 1001 (2014), p. 171-176.
- [5] I. I. Kim, E. Korevaar, „*Availability of free space optics (FSO) and hybrid FSO/RF systems*“, Proc. of SPIE, vol. 4530, 2001.
- [6] Lighthouse, FlightStrata 155E- User Manual. Online: <http://www.bauschnetworking.be/file/1061>.
- [7] Reliable RVR with MITRAS Transmissometer – User Manual. Online: <http://www.livedata.se/images/Vaisala/Sikt/MITRAS.pdf>
- [8] T. Ivaniga, P. Ivaniga, “*Comparison of the Optical Amplifiers EDFA and SOA Based on the BER and Q-Factor in C-Band*” Advances in Optical Technologies, Article ID 9053582, 2017, pp.1-9.
- [9] Vaisala Transmissometer LT31 RVR with New Eyes – Datasheet, Online:<http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Brochures%20and%20Datasheets/WCO-APS-LT31-Datasheet-B210416EN-C-LoRes.pdf>
- [10] M. Tatarko, E. Ovseník, J. Turán.: „*Experimentálne pracovisko pre meranie hustoty hmly*“, Electrical Engineering and Informatics, proceeding of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice, 2011 pp. 29-34, ISBN 978-80-553-0611-7
- [11] J. Tóth, E. Ovseník, J. Turán, “*Free space optics experimental system - long term measurements and analysis*”, Acta Electrotechnica et Informatica. 2015. Vol 15, NO 2 (2015), s. 26-30. - ISSN 1335-8243.

# Využitie optického korelátoru vo videodohľadovom systéme priemyselných obrazov

<sup>1</sup>Dávid SOLUS, <sup>2</sup>Luboš OVSEŇÍK, <sup>3</sup>Ján TURÁN, <sup>4</sup>Katarína TÓKÖLYOVÁ

<sup>1,2,3,4</sup> Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektroniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>1</sup>david.solus@tuke.sk, <sup>2</sup>lubos.ovsenik@tuke.sk, <sup>3</sup>jan.turan@tuke.sk,  
<sup>4</sup>katarina.tokolyova@student.tuke.sk

**Abstrakt** — Tento článok sa zaoberá využitím optického korelátoru v priemyselnom videodohľadovom systéme, ktorý môže byť použitý na snímanie a porovnávanie priemyselných obrazov, ako napr. kachličiek, dlažieb. Základom daného videodohľadového systému je Cambridge optický korelátor, ktorý využíva najrýchlejšie prenosové médium – svetlo. Výhodou tohto zariadenia je veľká rýchlosť spracovania dát v reálnom čase.

**Kľúčové slová** — Cambridge optický korelátor, detekcia hrán, rozpoznávanie obrazu

## I. ÚVOD

Dnešná digitálna doba si vyžaduje neustále inovácie v oblasti techniky a vytváranie stále viac spoľahlivejších systémov, ktoré je možné využiť či už v priemyselnej, dopravnej alebo bezpečnostnej oblasti. Optické korelátorov majú svojou rýchlosťou spracovania množstva dát za veľmi krátky čas využitie vo väčšine oblastí každodenného života.

Cieľom tohto príspevku je predstaviť videodohľadový systém priemyselných obrazov - dlaždíc, ktorého základom je Cambridge optický korelátor (OC). Princípom navrhnutého systému je porovnávanie vstupných obrazov – vyrobené dlaždice, ktoré boli nasnímané (získané) kamerou s referenčnou databázou obrazov a vyhodnotenie podobnosti (zhody) medzi jednotlivými obrazmi. Na vyhodnotenie zhody porovnávaných obrazov sa využíva optický korelátor typu Cambridge [1], [2].

## II. VIDEODOHĽADOVÝ SYSTÉM PRIEMYSELNÝCH OBRAZOV

Najväčšou a najčastejšie spomínanou výhodou OC je jeho rýchlosť spracovania informácií aj pri veľkom množstve dát. To dáva priestor na využívanie, týchto v súčasnosti finančne dostupných zariadení, v rôznych oblastiach. Každá oblasť hľadá riešenie, ako znížiť svoje náklady a zvýšiť efektívnosť práce. To sa týka aj priemyselnej oblasti, ktorej výroba má široké využitie v spoločnosti.

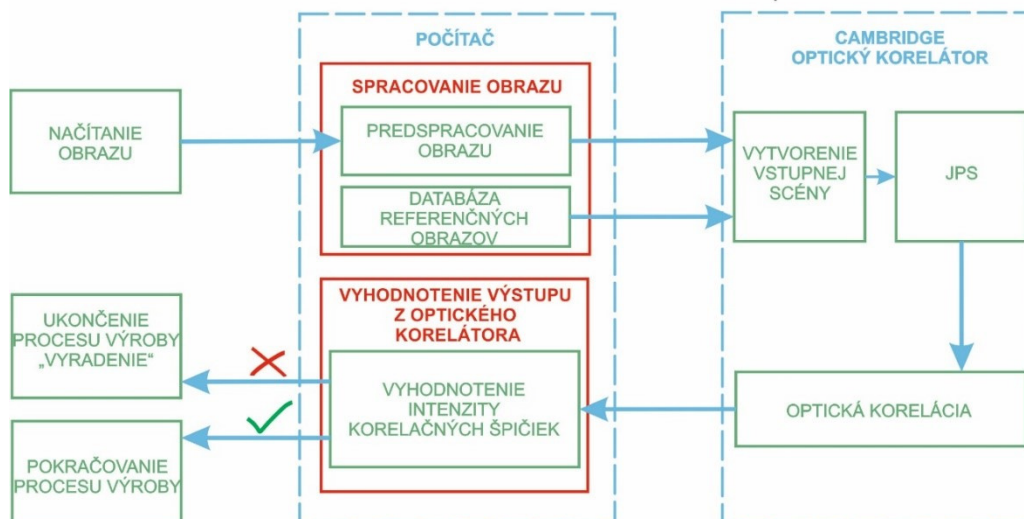
Priemyselná oblasť sa zaoberá aj výrobou všetkých obkladových prvkov, ako dlažieb a obkladov, ktorých využitie sa vďaka svojej pestrosti farieb, štýlov a jednoduchosti údržby začína čoraz viac rozširovať v domácnostiach. Mnohokrát sa stáva, že pri osadzovaní dlažby alebo obkladov zistíme, že veľkosti jednotlivých dlaždíc sa líšia, čím vznikajú problémy. Týmto problémom by sa mohlo predísť zavedením OC do výrobného procesu ako videodohľadový systém, ktorý by vyhodnocoval tieto priemyselné obrazy [3-5].

Presnosť rozmerov obkladových prvkov je daná Slovenskou normou, ktorá povoľuje odchýlku medzi najmenšou a najväčšou dlaždicou v balení, a to 0,6%. Avšak pri dodržiavaní tejto odchýlky by bol rozdiel medzi dlaždicami, napr. pri rozmere 40x40 cm až 4,8 mm. Tento rozdiel je však pri praktickom využití nemysliteľný a daná dlaždica je prakticky nepoužiteľná. Kvalitní výrobcovia si preto zaviedli tzv. deklarovaný rozmer, ktorý udáva max. odchýlku na  $\pm 2$  mm. Takáto odchýlka je už zanedbateľná a pri pokladaní nerobí problém. Norma taktiež určuje rovinnosť dlažby, ktorá predstavuje odchýlku medzi stredom a okrajom dlaždice 0,5%. To v praxi znamená, že pri veľkosti napr. 40x40 cm je odchýlka 2mm.

Proces začína na pracovnom páse výrobnéj linky, ktorým sú obkladačky/dlažby prepravované

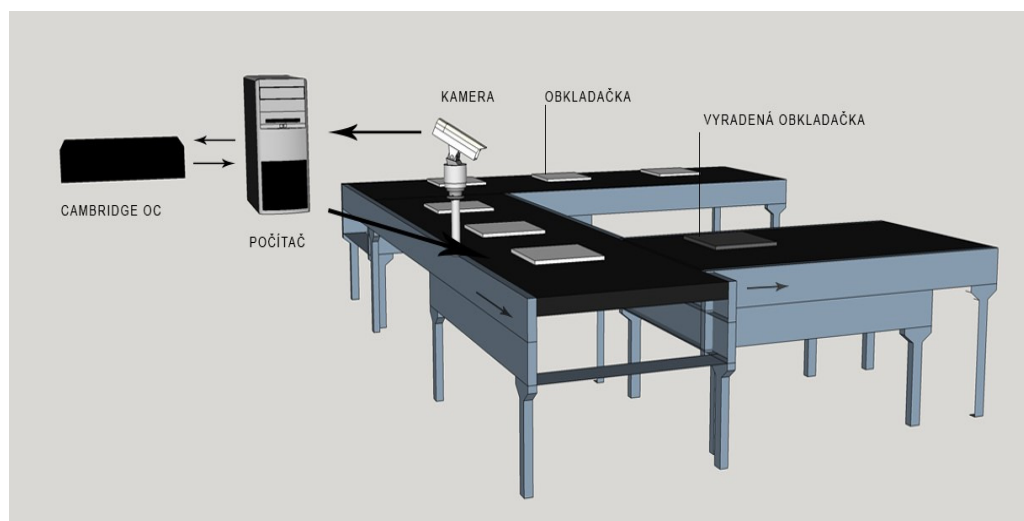


na ďalšie spracovanie. Celý proces detekcie videodohľadového systému pre vyhodnocovanie rozmerov obkladových prvkov znázorňuje Obr. 1.



Obr. 1 Bloková schéma videodohľadového systému referenčných obrazov.

V určitom úseku tejto linky sa nachádza kamera, ktorá sníma prepravovanú dlaždicu a následne tento obraz odosiela do počítača. V počítači prebehne predspracovanie obrazu. V tomto prípade sa za predspracovaním rozumie detekcia hrán obrazu. Detekciou hrán dosiahneme výraznejšie hrany pre ľahšiu detekciu tvaru, a teda aj rozmeru pre zistenie odchýlky. Tento predspracovaný obraz sa odošle do OC, kde spoločne s referenčným obrazom vytvárajú vstupný obraz pre spracovanie v OC. Následne prebehne ich Fourierova transformácia, ktorá vytvára spojité výkonové spektrum (JPS). Prebehne optická korelácia, ktorej výsledkom sú korelačné špičky zobrazené na korelačnej rovine. Korelačné špičky vyjadrujú mieru zhodnosti, ktorú určuje intenzita špičky. Hodnota intenzity sa ukladá do textového súboru a je daná číselnou hodnotou. Nadobúda hodnotu od 0-255. Čím vyššie je dané číslo, tým sa vstupný obraz s referenčným viac podobajú. Po určitom počte meraní sa výsledky odosielajú do počítača, ktorý z výsledkov vytvorí priemer potrebný pre vyhodnotenie. Tento priemer určí, či dlaždica má správnu veľkosť, resp. povolenú odchýlku  $\pm 2$  mm a môže pokračovať vo výrobe alebo presahuje povolenú odchýlku a musí byť z pracovného pásu odstránená. Návrh celého systému je zobrazený na Obr. 2 [6-10].



Obr. 2 Návrh videodohľadového systému.

### III. EXPERIMENTÁLNE OVERENIE NAVRHNUTÉHO SYSTÉMU

Po vykonaní 20 meraní, v ktorom každé obsahovalo 100 výsledkov, nastalo vyhodnotenie výsledkov. Dané merania sa uskutočnili pomocou softvéru „Fourier Optic Experimenter“, ktorý je dodávaný spolu s OC. Pre každé meranie bola vytvorená tabuľka, ktorá obsahovala 3 stĺpce a 100 riadkov. Prvý stĺpec reprezentoval hodnotu prvej korelačnej špičky  $i_1$ , druhý stĺpec

obsahoval hodnotu druhej korelačnej špičky  $i_2$  a tretí predstavoval priemernú hodnotu intenzity týchto dvoch korelačných špičiek, ktorú dosiahneme pomocou vzorca (1):

$$\text{priemer}_i = \frac{i_1 + i_2}{2} \quad (1)$$

Po vypočítaní všetkých priemerných hodnôt jednotlivých meraní sa vypočítal celkový priemer (2), vďaka ktorému vypočítame výslednú zhodu obrazov v percentách (3):

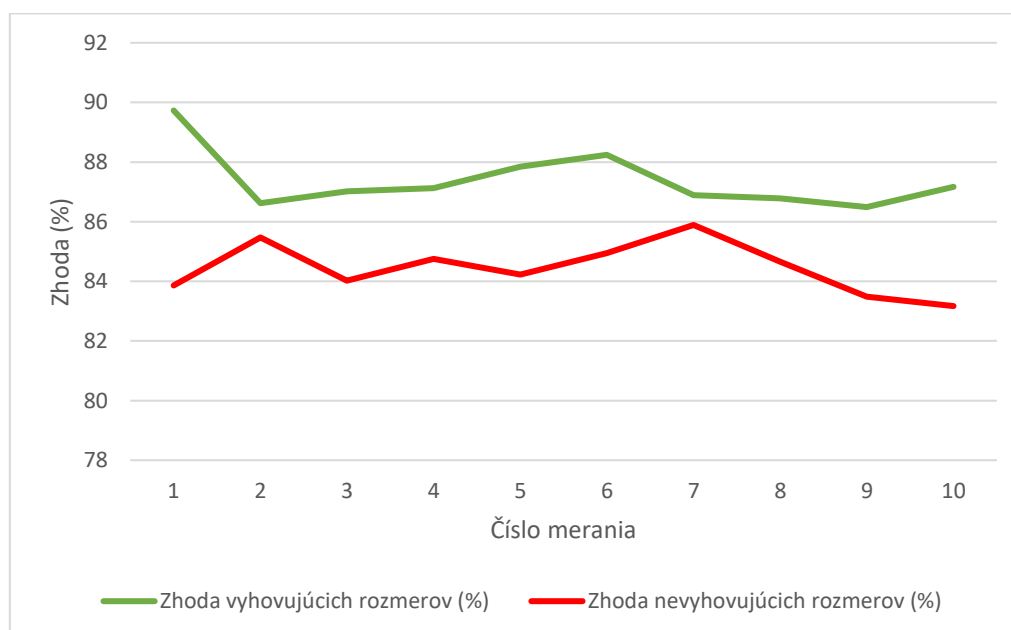
$$\text{celkový priemer}_i = \frac{\sum_{i=1}^{100} \text{priemer}_i}{100} \quad (2)$$

$$\text{zhoda}_i = \frac{\text{celkový priemer}_i}{255} * 100. \quad (3)$$

Tab. 1 obsahuje rozmery a výsledné hodnoty zhody meraní. Ľavá časť obsahuje rozmery a výsledky pre dlaždice s rozmermi spadajúcimi do odchýlky  $\pm 2\text{mm}$ . Pravá časť tabuľky obsahuje rozmery a výsledky zhody dlaždíc, ktoré sú mimo odchýlky  $\pm 2\text{mm}$ . Obr.3 ukazuje grafické zobrazenie tejto zhody pre dané rozmery dlaždíc. Zhoda v Tab. 1, ako aj v grafe (Obr. 3) ukazuje mieru zhodnosti v (%) danej veľkosti dlažby s referenčnou dlažbou, ktorej veľkosť je  $60 \times 60 \text{ cm}$  [1],[2],[7-10].

Tab. 1  
 Výsledky zhody dlaždíc

Číslo merania	Veľkosť vstupnej dlažby s vyhovujúcimi rozmermi (cm)	Zhoda (%)	Veľkosť vstupnej dlažby s nevyhovujúcimi rozmermi (cm)	Zhoda (%)
1	60 x 60	89,73	59,6 x 59,6	83,86
2	59,8 x 59,8	86,62	59,6 x 59,8	85,47
3	59,8 x 60	87,02	59,7 x 59,6	84,02
4	59,9 x 59,9	87,12	59,7 x 59,7	84,75
5	59,9 x 60,1	87,84	59,7 x 60,4	84,23
6	59,9 x 60	88,24	60,1 x 60,4	84,95
7	60,1 x 60,2	86,89	60,2 x 60,3	85,89
8	60,2 x 59,8	86,78	60,3 x 60,3	84,66
9	60,2 x 60,2	86,49	60,4 x 60,4	83,49
10	60 x 60,2	87,17	60 x 60,4	83,17



Obr. 3 Graf výsledných hodnôt experimentu.

Z výsledkov vyplýva, že OC je výhodné použiť ako videodohľadový systém vo výrobe obkladových prvkov. Experiment ukázal hranicu, ktorá oddeľuje obkladové prvky spadajúce do povolenej odchýlky  $\pm 2\text{mm}$  a tie, ktoré do nej nespádajú. Hranica bola experimentom stanovená na 86%. To znamená, že obkladové prvky, ktorých zhoda s referenčným obrazom je  $>86\%$ , spadajú do povolenej odchýlky a môžu byť ďalej spracované vo výrobe. Ak je zhoda medzi vstupným a referenčným obrazom  $\leq 86\%$ , tak daný obkladový prvok nevyhovuje dovolenej odchýlke a je z linky presmerovaný na iný dopravný pás, určený vyradeným obkladovým prvkom.

#### IV. ZÁVER

Tento článok sa zaoberal využitím Cambridge optického korelátora vo videodohľadovom systéme priemyselných obrazov. Systém po nasnímaní obrazu kamerou ho odoslal do počítača na predspracovanie, kde sa detegovali hrany, následne sa spracovaný obraz odoslal do OC, kde spolu s referenčným obrazom tvorili vstupný obraz. Po vytvorení JPS prebehla optická korelácia a vytvorili sa korelačné špičky, ktorých sa poloha a intenzita zaznamenávala. Použilo sa 20 dlažieb s rôznymi rozmermi a s každou sa vykonalo 100 meraní. Teda celkovo sa vykonalo 2000 meraní. Z týchto hodnôt sa následne urobilo štatistické vyhodnotenie, ktoré ukázalo zhodu v %. Dokázalo sa, že na zistenie, či daný obkladový prvok spadá do tolerancie  $\pm 2\text{ mm}$  alebo nie, existuje hranica zhody s referenčným obrazom, ktorá je tvorená 86%. Ak je zhoda väčšia ako 86%, tak obkladový prvok spadá do povolenej odchýlky a môže pokračovať vo výrobnom procese. Ak je zhoda menšia ako 86%, tak obkladový prvok do povolenej odchýlky nespadá, a teda musí byť z výrobného pásu odstránený. Tento systém je možné použiť na rozoznávanie rozmerov rôznych objektov. Taktiež by sa dal po menších úpravách využiť na zisťovanie vzoru dlaždicových prvkov, ktorým sa náš systém nezaoberal.

#### POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou (KEGA) Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky na základe projektu č. 023TUKE-4/2017. Táto práca je tiež výsledkom zmluvy č. VEGA 1/0772/17 - Lokalizácia osôb na základe detekcie ich vitálnych funkcií UWB senzormi krátkého dosahu.

#### LITERATÚRA

- [1] Cambridge Correlators. <http://www.cambridgecorrelators.com/optical.html>, May 2017.
- [2] Cambridge Correlators, Fourier Optics Experimenter: User guide, version: 1.0.46. 3.10.2016.
- [3] P. Ambs. "Optical Computing: A 60-Year Adventure," in *Advances in Optical Technologies*. 2010, vol. 2010, Article ID 372652, 2010. doi:10.1155/2010/372652.
- [4] A. Layton, R. Marsh. "Object distance detection using a joint transform correlator," in *IEEE International Conference on Electro Information Technology*. 2016, no. 7535326, pp. 707-709. DOI: 10.1109/EIT.2016.7535326.
- [5] Cambridge Correlators. Fourier Optics Experimenter, User Guide.
- [6] T. Harasthy, E Ovseník, J, Turán. "Current summary of the practical using of optical correlators," *FEI TUKE*, 2008. ISSN 1335-8243.
- [7] D. Solus, L. Ovseník, J. Turán. "Optical Correlator in Industrial Image Pattern Recognition System," in *Carpathian Journal of Electronic and Computer Engineering*. Vol. 9, no. 2 (2016), p. 27-31. - ISSN 1844-9689.
- [8] R. Gonzales, R. Woods, R., S. Leddins, "Digital Image processing using MATLAB", 2nd ed. Natick: Gatesmark Publishing, 2009.
- [9] D. Solus: "Optical Correlator in Image and Video Processing Systems," in *SCYR 2015: 15th Scientific Conference of Young Researchers*. Košice: TU, 2015, pp. 96-99. ISBN 978-80-553-2130-1.
- [10] D. Solus, L. Ovseník, J. Turán. "Signal processing - object detection methods with usage of optical correlator," in *Radioelektronika 2016*. Danvers: IEEE, 2016, pp. 315-318. ISBN 978-1-5090-1673-0.

# Návrh mikropásikovej antény pre FSO/RF hybridný systém

Michal MÁRTON, Ľuboš OVSEŇÍK, Ján TURÁN, Peter MAKOVICKÝ

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská republika

michal.marton@tuke.sk; lubos.ovsenik@tuke.sk; jan.turan@tuke.sk;  
peter.makovicky@student.tuke.sk

**Abstrakt** — V súčasnosti pri náraste požiadaviek používateľov na prenosovú rýchlosť a kapacitu prenosových médií dochádza k pokroku vývoja nových technológií, ktoré by dokázali splniť požiadavky. Optické vlákna ponúkli riešenie v tejto oblasti, avšak z pohľadu nákladov na realizáciu takýchto spojov v oblastiach, kde je nákladné túto technológiu nasadzovať sa ukazuje ako efektívne riešenie uplatnenie technológie FSO (Free Space Optics). Technológia FSO umožňuje dosiahnuť prenosové rýchlosti alternatívne fyzickým optickým vláknam na vzdialenosť do 10km. Citlivosť na zmeny počasia a hlavne výskyt hmly pri ktorej prenášaný optický lúč môže interagovať s čistočkami vody v ovzduší môže výrazne ovplyvniť kvalitu prijatého optického signálu. V extrémnom prípade môže dôjsť k výpadku spojenia čomu je nevyhnutné predísť. Jedným z riešení je nasadenie záložnej linky. V našom prípade sme navrhli rádiovú linku v nelicencovanom pásme 2,4GHz s použitím mikropásikovej antény na základe prechádzajúcich skúmaní.

**Kľúčové slová** — FEKO, FSO/RF, mikropásiková anténa

## I. ÚVOD

Aplikácia technológie optických vlákien priniesla možnosť rozmachu služieb náročných na prenosovú linku, pričom kapacita a dostupná prenosová rýchlosť sa odhadovali v niekoľko desiatkach Gb/s. Táto technológia umožnila prepojiť vzdialené uzly a komunikáciu medzi nimi omnoho rýchlejšie a efektívnejšie ako kedykoľvek pred tým. Dostupnosť týchto služieb je podmienená nasadením fyzických optických vlákien, zosilňovačov (pri diaľkových aplikáciách) čo v niektorých oblastiach znemožňuje, alebo navyšuje konečnú cenu. Z tohto hľadiska sa ako najvýhodnejšie riešenie ponúka nasadenie technológie FSO. Táto technológia bola vyvíjaná armádou a teraz je k dispozícii aj pre civilné účely. Možnosť prenosu zväzku optických lúčov voľným prostredím pri dosiahnutí adekvátnej prenosovej rýchlosti, pričom úroveň bezpečnosti prenosu zostane nezmenená je základom FSO systému. Systémy prenášajúce informácie prostredníctvom svetelných lúčov sú vo všeobecnosti charakteristické vysokým stupňom bezpečnosti. Nevýhodou pri použití prenosového média typu voľné prostredie je vplyv všetkých javov na kvalitu prenášaného signálu. Optické signály šíriace sa voľným prostredím interferujú s čistočkami v ovzduší. Pre každý typ počasia je iná koncentrácia týchto častíc vody, pričom najväčší útlm na prenosovej trase dosiahneme pri hmle, hustej hmle a silnom snežení. Pri takýchto prípadoch môže dôjsť k útlmu signálu na prenosovej trase dokonca v niektorých prípadoch k výpadku spojenia. Takýmto nežiadúcim javom je nevyhnutné predchádzať. Jednou z možností je vytvorenie záložnej linky, ktorá s vhodnou metódou prepínania dokáže takýmto výpadkom efektívne predchádzať. V súčasnosti takýto FSO systém je realizovaný na TUKE, pričom aby sme mohli hovoriť o FSO/RF systéme je nutné zabezpečiť RF (Rádio Frekvenčnú) záložnú linku. Návrh mikropásikovej antény pre tento FSO/RF systém je hlavným prínosom tohto článku [1-5].

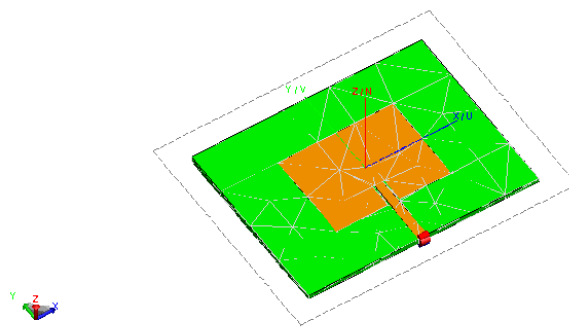
## II. NÁVRH MIKROPÁSIKOVEJ ANTÉNY

Na základe zvoleného frekvenčného pásma a predchádzajúcich analýz možností pre túto aplikáciu bol vybraný vhodný typ antény. Nakoľko FSO systém pracuje v nelicencovanom pásme bolo nevyhnutnou podmienkou uvažovať nelicencované frekvenčné pásmo aj pre záložnú RF linku. Zvolené bolo pásmo 2,4GHz v súčasnosti používané aj pre Wi-Fi služby. Na základe frekvencie sme navrhli mikropásikovú anténu s rozmermi 0,16 x 7,24 x 5,60 cm (výška x šírka x dĺžka). Anténa je zložená z vodivostnej plošky obdĺžnikového tvaru s rozmermi 3,6 x 2,8 cm umiestnenej na substráte z dielektrického materiálu typu FR4, ktorého permitivita je  $\epsilon_r = 4.4$ . Vlastnosti mikropásikovej antény sú vyjadrené prostredníctvom Tabuľky 1.

Tabuľka 1 Parametre mikropásikovej antény

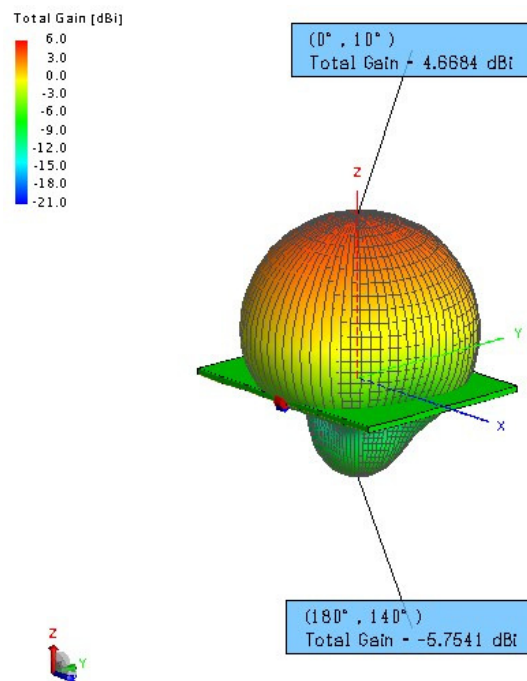
Parameter	Popis
Typ antény	Mikropásiková anténa
Rozsah pracovných frekvencií	1,45 – 2,75 GHz
Počet kanálov	15
Odstup kanálov	92,85 MHz
Rozmery antény (výška x šírka x dĺžka)	0,16 x 7,24 x 5,60 cm
Rozmery vodivej plošky (šírka x dĺžka)	3,6 x 2,8 cm
Použitý materiál substrátu dielektrika	FR4
Permitivita substrátu	$\epsilon_r = 4.4$
Použitý materiál vodivej časti	Ideálny vodič

Model navrhutej mikropásikovej antény je zobrazený na Obr. 1, pričom obrázok pochádza z návrhového prostredia CAD FEKO. V tomto modeli je hnedou farbou zvýraznená oblasť použitá pre ideálny vodič a zelená farba reprezentuje dielektrický substrát typu FR4. Napájanie je navrhnuté prostredníctvom otvoreného konca vedenia.



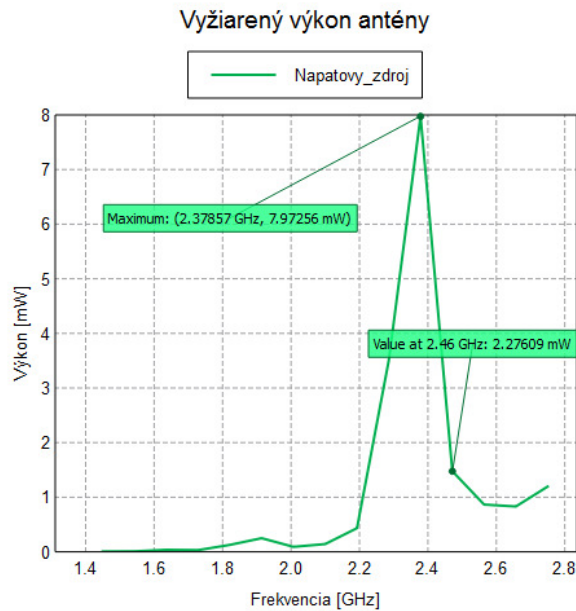
Obr. 1 Navrhnutý model mikropásikovej antény

Vyžarovacia charakteristika navrhutej antény je zobrazená na Obr.2 v decibelovej mierke, pričom hodnota zisku je vyjadrená podľa legendy v ľavom hornom rohu kde je červenou farbou vyjadrená oblasť najväčšieho zisku, naopak modra reprezentuje oblasť s najnižšou hodnotou zisku. Ako je možné vidieť na Obr. 2 hodnota zisku v hlavnom smere vyžarovania korešponduje s hodnotou 4,6684dBi. Navrhnutá anténa je reprezentovaná hodnotou -5,7541dBi v smere vyžarovania zadného laloku.



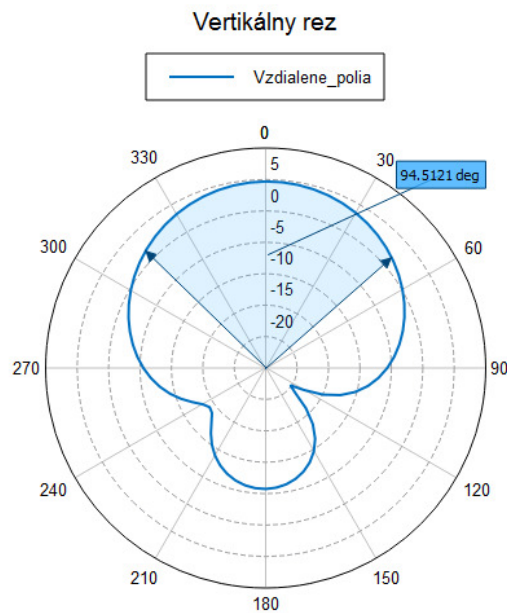
Obr. 2 Vyžarovacia charakteristika navrhutej antény pre frekvenciu 2,46GHz

Maximálna hodnota vyžiareného výkonu pri frekvencii 2,37857GHz je približne 8mW čo spĺňa kritérium pre maximálny vyžiarený výkon pre frekvenčný rozsah 2,400-2,48350GHz a to do 10mW [6-8]. Charakteristika výkonov pre testovaný frekvenčný rozsah je zobrazená na Obr. 3.



Obr. 3 Vyžiarený výkon antény

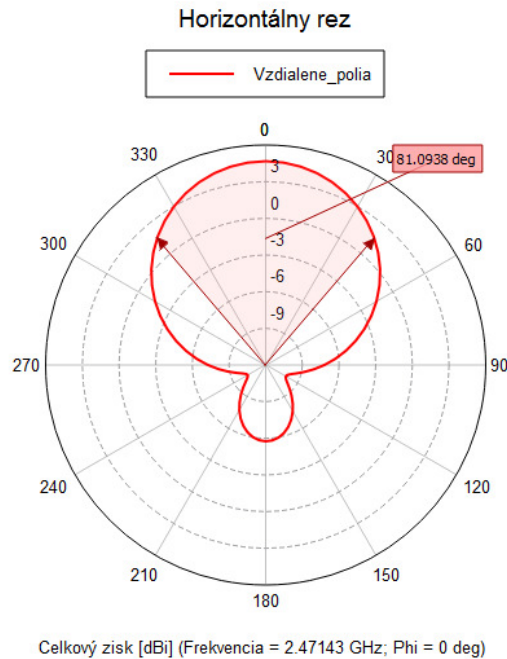
Vyžarovacia charakteristika navrhnutej antény zobrazená v polárnych súradniciach pri znížení výkonu o 3dB pri vertikálnom reze rovinou E, čo predstavuje elektrickú zložku elektromagnetického poľa je na Obr. 4, pričom je možné pozorovať zmenu vyžarovacieho uhla na hodnotu 94,5151°.



Celkový zisk [dBi] (Frekvencia = 2.47143 GHz; Phi = 90 deg)

Obr. 4 Vyžarovacia charakteristika zobrazená v polárnom zobrazení

Vyžarovacia charakteristika vyjadrená prostredníctvom polárnych súradníc v reze roviny magnetickej zložky H je zobrazená na Obr. 5. Na Obr. 5 je možné vidieť zmenu vyžarovacieho uhla pri polovičnom výkone t.j. pokles o 3dB. Hodnota uhla vyžarovania potom zodpovedá 81,0938°.



Obr. 5 Vyžarovacia charakteristika zobrazená v polárnom zobrazení

### III. ZÁVER

Cieľom tejto publikácie bolo navrhnuť mikropásovú anténu pracujúcu vo voľnom frekvenčnom pásme v okolí 2,46GHz. Na základe požiadaviek bola navrhnutá mikropásová anténa s obdĺžnikovou vyžarovacou plochou s rozmermi uvedenými v Tabuľke 1. Hodnota maximálneho vyžiareného výkonu je približne 8mW čo spĺňa podmienky pre maximálnu prípustnú hodnotu výkonu podľa všeobecného povolenia č. VPR - 05/2001 a to do 10mW pre frekvenčné pásmo v okolí 2,46GHz. Hodnota maximálneho zisku v smere vyžarovania hlavného laloku je 4,6684dBi, pričom hodnota vyžarovania v smere zadného laloku je -5,7541dBi. Materiál uvažovaný pri návrhu je FR4 čo je fotocuprextit, teda materiál určený na výrobu dosiek plošných spojov, ktorý zníži náklady na materiál potrebný pre vyrobenie antény.

### POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou (KEGA) Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky na základe projektu č. 023TUKE-4/2017. Táto práca je tiež výsledkom zmluvy č. VEGA 1/0772/17 - Lokalizácia osôb na základe detekcie ich vitálnych funkcií UWB senzormi krátkého dosahu.

### LITERATÚRA

- [1] Ryan T. Cutshall, Richard W. Ziolkowski, "Performance Characteristics of Planar and Three-Dimensional Versions of a Frequency-Agile Electrically Small Antenna", *Antennas and Propagation Magazine IEEE*, vol. 56, pp. 53-71, 2014, ISSN 1045-9243
- [2] Joshua W. Shehan, Ryan S. Adams, "Electrically thin magnetodielectric metamaterial fresnel lens antenna", *Antennas and Propagation (APSURSI) 2016 IEEE International Symposium on*, pp. 1387-1388, 2016, ISSN 1947-1491 005.
- [3] P. Ivaniga, T. Ivaniga, "10 Gbps optical line using EDFA for long distance lines", *Przeglad Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, vol. 93, no. 3, 2017, pp.193-196.
- [4] J. Volakis, *Antenna engineering handbook*, 1st ed. London: McGraw-Hill, 2007.
- [5] Liptai, P., Moravec, M. Lumnitzer, E. Lukáčová, K.: „Impact analysis of the electromagnetic fields of transformer stations close to residential buildings“ In: *SGEM 2014*, vol. 1, 2014, p. 355-360.
- [6] J. Mondal, S. Kumar Ray, M. Alam and M. Rahman, "Design Smart Antenna by Microstrip Patch Antenna Array", *International Journal of Engineering and Technology*, vol. 3, no. 6, pp. 675-683, 2011.
- [7] T. Ivaniga, P. Ivaniga, "Comparison of the Optical Amplifiers EDFA and SOA Based on the BER and Q-Factor in C-Band" *Advances in Optical Technologies*, Article ID 9053582, 2017, pp.1-9.
- [8] Úrad pre reguláciu elektronických komunikácií a poštových služieb, oficiálna stránka, dostupné na internete: < <http://www.teleoff.gov.sk/index.php?ID=826> >

# Architektúra chaotických šifrovacích algoritmov

Jakub ORAVEC, Ján TURÁN, Ľuboš OVSENÍK

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach

{jakub.oravec, jan.turan, lubos.ovsenik}@tuke.sk

**Abstrakt** – Tento príspevok sa zaoberá popisom vlastností a jednotlivých krokov, ktoré sa používajú v chaotických šifrovacích algoritmoch. Okrem toho sú uvedené aj súvislosti medzi chaotickými a „bežnými“ šifrovacími algoritmami. Požadované vlastnosti chaotických šifrovacích algoritmov sú ilustrované prostredníctvom zhrnutia útokov, ktoré je možné použiť pri získavaní pôvodných dát. Článok obsahuje tiež aj prehľad parametrov, ktoré sa využívajú na porovnanie viacerých chaotických šifrovacích algoritmov.

**Kľúčové slová** – chaos, iterácia, šifra, útok

## I. ÚVOD

Postupy šifrovania a opačnej operácie, dešifrovania, prekonalí pomerne dlhý vývoj. Ku prvým doloženým šifram patria tzv. monoalfabetické šifry, ktoré slúžili na náhradu (substitúciu) jedného znaku iným. Inou známou skupinou šifier boli transpozičné šifry, ktoré sa sústredili na preusporiadanie znakov textu. Neskôr boli šifrovacie algoritmy vylepšené zavedením kľúča, ktorý určoval parametre operácií pri šifrovaní. Po vytvorení rôznych šifrovacích postupov nastala éra, v ktorej bol vývoj šifier podporený politickou situáciou.

Zvýšenie výkonu a väčšie rozšírenie osobných počítačov znamenalo aj väčšie možnosti odhalenia vtedy používaných šifier. Odpoveďou na túto hrozbu bol algoritmus DES (Data Encryption Standard, 1975), ktorý používal 64-bitové bloky dát a 56-bitový kľúč. Operácie substitúcie a transpozície boli vykonávané v 16 iteráciách (rundách). Po niekoľkých vylepšeniach (napr. trojitý DES) bol predstavený nástupca algoritmu DES, algoritmus AES (Advanced Encryption Standard, 1998). Veľkosť bloku dát pre AES je 128 bitov, dĺžka kľúča je 128, 192 alebo 256 bitov. Podľa dĺžky kľúča sa počíta 10, 12, alebo 14 iterácií algoritmu [1].

Pri voľbe nástupcu algoritmu DES sa uvažovalo o rôznych alternatívach. Jednou z nich boli aj šifry zo skupiny, ktoré využívali vlastnosti chaotických zobrazení [2].

## II. MOTIVÁCIA PRE VÝVOJ

Aj keď sú bežne používané – *konvenčné* šifrovacie algoritmy vďaka svojim vlastnostiam vhodné na šifrovanie bitového toku, resp. blokov dát, pri iných aplikáciách môžu prejavovať svoje nedostatky. Jednou z takýchto aplikácií je napr. šifrovanie obrazov, ktoré sa stále častejšie používa pri ukrývaní dát pomocou steganografických techník [3], [4]. V tomto prípade je úlohou steganografickej techniky minimalizovať pravdepodobnosť odhalenia zmien, ktoré súvisia s ukrytím dát. Šifrovanie sa stará o to, aby bol pri odhalení použitia steganografie obsah ukrytých dát neznámy.

Ako už bolo spomenuté v kap. I, v súčasnosti používaný štandard AES využíva blok dát s veľkosťou 128 bitov. Pri farebenej hĺbke 8 bitov na obrazový prvok (*op*) je možné za jeden blok dát považovať  $128/8$ , teda 16 *op*. Kvôli tomu sa po použití algoritmu AES môže prejavovať blokový efekt, známy napr. z kompresného štandardu JPEG [5]. Pri použití nevhodného režimu (Electronic CodeBook, ECB) algoritmu AES taktiež hrozí malá miera reťazenia – hodnota amplitúdy pre aktuálne šifrovaný *op* bude závisieť od malého počtu predošlých hodnôt. Ďalšou nevýhodou algoritmu AES pri šifrovaní obrazov je vysoká výpočtová náročnosť zapríčinená veľkým počtom *op*, pre ktoré je potrebné prehľadávať substitučné tabuľky.

Príklad dvojice obrazov v odtieňoch sivej (farebná hĺbka 8 bitov na *op*), ktoré sú zašifrované algoritmom AES v režime ECB s heslom *totojetajneheslo* je zobrazený na Obr. 1.

Na zašifrovanej verzii druhého obrazu si môžeme všimnúť blokový efekt, ako aj malú mieru reťazenia – zo všetkých blokov obsahujúcich len *op* s nulovou intenzitou (čierne *op*) sa stane jeden, rovnaký blok *op*. Táto skutočnosť by mohla byť využitá pri analýze šifrovacieho algoritmom štatistickým útokom.





Obr. 1 Šifrovanie obrazov algoritmom AES v režime ECB.

### III. CHAOTICKÉ ŠIFROVACIE ALGORITMY

O návrh šifrovacieho algoritmu, ktorý by využíval chaotické zobrazenie (ChZ) sa pokúsil koncom 80. rokov minulého storočia R. Matthews [6]. V článku okrem iného uvádza aj vlastnosti ideálneho ChZ: výsledky po iterovaní by neboli periodické, ani by sa neblížili (nekonvergovali) ku určitej hodnote. Keďže diskretizované verzie ChZ pracujú s množinou prvkov s obmedzeným počtom (*op* obrazu) a tieto prvky majú obmedzený počet amplitúd (pre obrazy v odtieňoch sivej je to 256 úrovní), uvedené vlastnosti nie je možné docieľiť, avšak je možné sa ku nim priblížiť.

Rovnako, ako v prípade konvenčných šifrovacích algoritmov, aj chaotické šifrovacie algoritmy (ChŠA) sa naďalej vyvíjali. Za prelomový prístup by sa dal označiť algoritmus publikovaný v [2], ktorý na šifrovanie využíva dva kroky: konfúziu a difúziu.

#### A. Konfúzia

Pri konfúzii nastáva preusporiadanie *op* obrazu, čím sa docieľi narušenie korelácie susedných *op*. Nové súradnice *op* obrazu sú väčšinou vypočítané prostredníctvom dvojrozmerných ChZ, ako napr. Arnoldovým zobrazením, štandardným (Čirikovovým), alebo aj pekárskym zobrazením.

Nevýhodou pri použití dvojrozmerných ChZ je skutočnosť, že ich predpisy boli vytvorené pre jednotkový štvorec, teda po diskretizácii predpisu musí byť rozlíšenie zobrazovaného obrazu  $n \times n$  *op*. Pre obrazy s inými rozlíšeniami je možné rozdeliť obraz na viacero štvorcových častí, alebo použiť kombináciu dvoch jednorozmerných zobrazení (ako napr. v [7]).

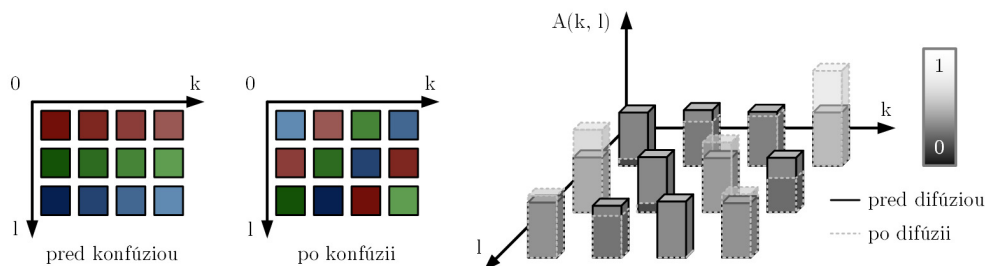
#### B. Difúzia

Difúzia používa amplitúdy *op* obrazu na výpočet nových amplitúd. Pri tomto kroku je vhodné zaviesť tzv. *ret'azenie*, pri ktorom vypočítaná amplitúda závisí na hodnotách viacerých amplitúd, ktoré boli už vypočítané. Okrem toho je v tomto kroku žiaduce vytvoriť nepredvídateľné (*chaotické*) vzťahy medzi vstupnými a výstupnými amplitúdami *op*. Na tieto účely je možné použiť jednorozmerné ChZ, napr. logistické.

Zavedenie chaotickosti je potrebné pre odolnosť voči diferenčným útokom. Pri tomto type útokov sa vykonávajú malé zmeny v pôvodnom obraze a vyhl'adávaajú sa korešpondujúce zmeny v zašifrovanom obraze. Ak malá zmena pôvodného obrazu spôsobí nepredvídateľné zmeny v zašifrovanom obraze, diferenčné útoky nie je možné použiť na odhalenie operácií ChŠA.

Pri operáciách vykonávaných pre výpočet nových amplitúd *op* je potrebné zohľadniť aj množinu hodnôt, ktoré tieto amplitúdy môžu nadobudnúť. Na zabezpečenie použitia hodnôt z určitej množiny je vhodná modulárna aritmetika.

Vplyv konfúzie a difúzie na blok statického obrazu je zobrazený na Obr. 2. Môžeme si všimnúť, že konfúzia v ChŠA je analogická ku transpozícii v konvenčných šifrovacích algoritmoch.



Obr. 2 Vplyv konfúzie a difúzie.

#### IV. ANALÝZA CHAOTICKÝCH ŠIFROVACÍCH ALGORITMOV

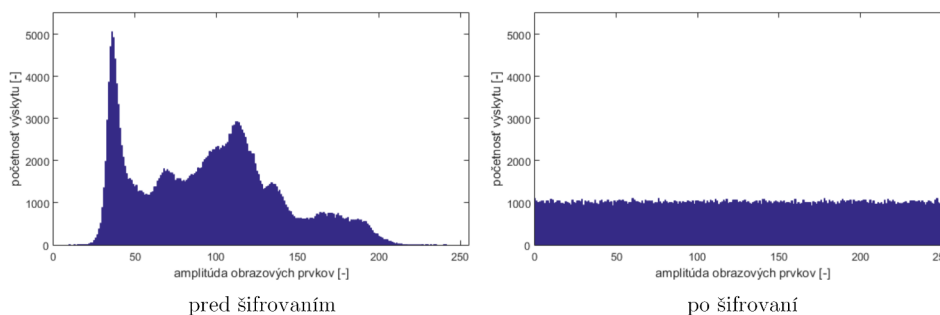
Pri ChŠA je žiadúce dosiahnuť dostatočný počet *použitelných kľúčov*, ktoré sa používajú pri šifrovaní, resp. dešifrovaní. Keďže operácie konfúzie a difúzie vo väčšine prípadov nie sú na sebe závislé, počet kľúčov je určený súčinom použitelných kľúčov pri konfúzii a difúzii.

Dôležitou vlastnosťou ChŠA je *citlivosť na zmenu kľúča*. Pri takejto analýze sa obraz zašifruje s určitým kľúčom. Dešifrovanie sa vykoná postupne s dvojicou kľúčov. Prvý kľúč je správny, zatiaľčo druhý je od neho odlišný v najmenšej možnej miere. Žiadanou vlastnosťou ChŠA je rozdielnosť dvojice obrazov, ktoré vzniknú takýmto dešifrovaním. Príklad tohto postupu je zobrazený na Obr. 3. Použitý ChŠA je bližšie opísaný v [7].



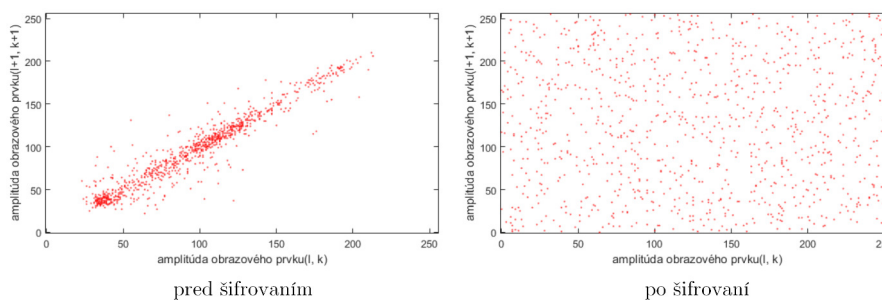
Obr. 3 Význam citlivosti na zmenu kľúča pri dešifrovaní.

Vyhodnocovanie efektov *štatistických útokov* je možné pomocou tvaru histogramu, korelačných diagramov a koeficientov alebo hodnoty entropie. Aplikácia ChŠA na obraz by mala spôsobiť čiastočné vyrovnanie početností výskytu jednotlivých amplitúd *op*. Túto situáciu ukazuje Obr. 4, kde sú zobrazené histogramy obrazov z Obr. 3. Použitým ChŠA bol rovnako algoritmus [7].



Obr. 4 Histogramy obrazov pred a po šifrovaní.

Korelačné diagramy zobrazujú body v dvojrozmernom priestore, pričom súradnice týchto bodov sú tvorené amplitúdami dvoch susedných *op*. Susednosť *op* môže byť horizontálna, vertikálna, alebo diagonálna. Korelácia *op* v obraze pred šifrovaním sa v korelačnom diagrame prejaví zobrazením bodov v okolí priamky  $y = x$ . Naopak, obraz po šifrovaní by mal mať tieto body rozmiestnené čo najrovnomernejšie. Príklad korelačných diagramov pre 1000 náhodne vybraných diagonálne susedných *op* z obrazov znázornených na Obr. 3 sa nachádza na Obr. 5. Ako vo všetkých doterajších prípadoch, použitým ChŠA bol algoritmus [7].



Obr. 5 Korelačné diagramy obrazov pred a po šifrovaní.

Pri *diferenčných útokoch* sa počítajú hodnoty parametrov NPCR (Number of Pixel Change Rate) a UACI (Unified Average Changing Intensity). Výpočet parametrov pozostáva z dvoch krokov: pri prvom sa zvolí obraz, z ktorého je vyhotovená kópia s najmenšou možnou odlišnosťou – pozmení sa amplitúda jedného *op* o jednu úroveň. Táto dvojica obrazov,  $P_1$  a  $P_2$  sa následne zašifruje rovnakým kľúčom, čím sa získajú obrazy  $C_1$  a  $C_2$ . V druhom kroku dochádza k samotnému výpočtu hodnôt.

Parameter NPCR zohľadňuje len počet *op* obrazu, pri ktorých došlo ku zmene amplitúdy. Rovnica na výpočet je uvedená ako (1):

$$NPCR_{[\%]} = \frac{100}{v \cdot s} \sum_{l=1}^v \sum_{k=1}^s D(l, k), \quad (1)$$

kde  $v$  a  $s$  označujú výšku, resp. šírku obrazu,  $l$  a  $k$  sú poradové čísla riadkov, resp. stĺpcov obrazu a  $D$  je rozdielová matica;  $D(l, k) = 1$  ak  $C_1(l, k) \neq C_2(l, k)$ , inak  $D(l, k) = 0$ .

UACI berie do úvahy aj mieru zmeny amplitúdy *op*. Hodnota UACI sa získa použitím (2):

$$UACI_{[\%]} = \frac{100}{v \cdot s} \sum_{l=1}^v \sum_{k=1}^s \frac{|C_1(l, k) - C_2(l, k)|}{2^L - 1}, \quad (2)$$

kde  $L$  označuje farebnú hĺbku obrazu.

Okrem týchto parametrov sa analyzuje aj výpočtová náročnosť algoritmu. V tomto prípade je potrebné rozlíšiť techniky, ktoré využívajú softvérové a hardvérové prostriedky. Aj keď sa časy výpočtu pri ChŠA môžu zdať vysoké, je potrebné uvážiť, že operácie používané pri výpočte konvenčných algoritmov ako AES sú obsiahnuté priamo v inštrukčnej sade procesorov Intel [8].

## V. ZÁVER

Tento príspevok sa venoval problematike chaotických šifrovacích algoritmov. Obsahoval stručnú históriu šifrovacích techník a dôvody, ktoré viedli ku použitiu teórie chaosu v oblasti kryptografie. Taktiež boli uvedené nevýhody použitia konvenčných šifrovacích algoritmov. Po opise techník, ktoré sa pri chaotických šifrovacích algoritmoch využívajú na preusporiadanie amplitúd obrazových prvkov, resp. na výpočet nových amplitúd boli analyzované aj parametre, podľa ktorých sa chaotické šifrovacie algoritmy posudzujú. Pri dosiahnutí vhodných hodnôt týchto parametrov je možné uvažovať o ich použití napr. v oblasti steganografie. V takomto prípade by sa tajné dáta pred samotným vkladáním do krycích dát a prenosom po neutajenom kanáli zašifrovali. Výhodou takéhoto prístupu by bolo ukrytie obsahu tajných dát aj v prípade odhalenia použitia steganografie.

## POĎAKOVANIE

Práca na tomto príspevku bola podporená prostriedkami z nasledujúcich výskumných grantov: KEGA 023TUKE-4/2017 (Nové trendy v optickom prenose informácií) a VEGA 1/0772/17 (Lokalizácia osôb na základe detekcie ich vitálnych funkcií UWB senzormi krátkého dosahu).

## LITERATÚRA

- [1] D. Levický, *Kryptografia a bezpečnosť komunikačných sietí*. Košice: Elfa, 2016. 352 p. ISBN: 978-80-8086-254-5.
- [2] J. Fridrich, „Symmetric Ciphers Based on Two-Dimensional Chaotic Maps,“ *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 1998, vol. 8, no. 6, pp. 1259–1284. ISSN: 0218-1274. DOI: 10.1142/S021812749800098X.
- [3] J. K. Saini, H. K. Verma, „A Hybrid Approach for Image Security by Combining Encryption and Steganography,“ *Proceedings of ICIP 2013*. Wagnaghat (India), 2013, pp. 607–611. ISBN: 978-14-6736-101-9. DOI: 10.1109/ICIP.2013.6707665.
- [4] V. Bánoci, G. Bugár, D. Levický, Z. Klenovičová, „A Novel JPEG Steganography Method Based on Modulus Function with Histogram Analysis,“ *Radioengineering*, 2012, vol. 21, no. 2, pp. 758–763. ISSN: 1805-9600.
- [5] J. Miano, *Compressed Image File Formats*. Massachusetts: Addison Wesley Longman, 1999. 264 p. ISBN: 978-02-0160-443-4.
- [6] R. Matthews, „On the Derivation of a „Chaotic“ Encryption Algorithm,“ *Cryptologia*, 1989, vol. 8, no. 1, pp. 29–42. ISSN: 0161-1194. DOI: 10.1080/0161-118991863745.
- [7] J. Oravec, L. Ovseník, J. Turán, „Šifrovanie obrazu s využitím logistického zobrazenia,“ *Elektrorevue*, 2017, vol. 19, no. 1, pp. 25–32. ISSN: 1213-1539.
- [8] S. Gueron, „Advanced Encryption Standard (AES) New Instructions Set,“ *dostupné on-line* [cit 2. 5. 2017]: <<https://software.intel.com/sites/default/files/article/165683/aes-wp-2012-09-22-v01.pdf>>.

# Použitie Trace transformácie pri rozpoznávaní obrazcov

Jakub ORAVEC, Ján TURÁN, Ľuboš OVSENIK

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach

{jakub.oravec, jan.turan, lubos.ovsenik}@tuke.sk

**Abstrakt** – V tomto príspevku je analyzovaná možnosť použitia Trace transformácie na rozpoznávanie rozličných obrazcov v odtieňoch sivej. Výsledkom po takejto transformácii je jediné reálne číslo, ktoré reprezentuje zvolený obrazec. Túto skutočnosť umožňuje vykonanie operácií, ktoré postupne znižujú počet rozmerov analyzovaných dát pomocou funkcionálov. Pri vhodnej voľbe funkcionálov je možné doceliť odolnosť voči určitým operáciám, ktoré sa vykonávajú s obrazcami.

**Príručové slová** – funkcionál, rozpoznávanie obrazcov, transformácia, trojitý príznak

## I. ÚVOD

Pri rozpoznávaní obrazcov (angl. pattern recognition) je potrebné zohľadniť pomerne vysoký počet obrazových prvkov (op), ktorými sú tieto obrazce tvorené. Kvôli zrýchleniu celého procesu rozpoznávania a porovnávania so záznamami v referenčnej databáze je nutné určiť iba také prvky, ktoré sú dôležité z hľadiska vlastností obrazu. Hodnoty, ktoré sa vypočítajú z takýchto prvkov je možné označiť ako *príznyky* (angl. features) a postupy ich vyhľadávania sa nazývajú *algoritmami extrakcie príznakov* (angl. feature extraction algorithms). V niektorých prípadoch sa takéto algoritmy označujú aj slovom *transformácia*, pričom sa uvažuje o tom, že obraz je transformovaný na množinu korešpondujúcich príznakov.

Keďže vstupné obrazy pre extrakciu príznakov môžu mať rozličné parametre (ako napr. rozlíšenie, alebo farebnú hĺbku), je nutné zabezpečiť, aby boli získané príznaky *nezávislé* (invariantné) od parametrov obrazov, alebo snímanej scény. Ku parametrom scény patrí napr. odlišný kontrast, pozorovací uhol, alebo pozícia pozorovateľa. Spôsob, akým sa dosiahne táto nezávislosť je daný operáciami vykonávanými pri vyhľadávaní príznakov.

## II. TRACE TRANSFORMÁCIA

Princípy Trace transformácie (TT) boli prvýkrát publikované A. Kadyrovom a M. Petrou v roku 2001 [1]. TT slúži na získanie jediného reálneho čísla, ktoré sa nazýva *trojitým príznakom* (angl. triple feature) a opisuje celý skúmaný obrazec. Pre trojitý príznak bolo spomenutými autormi zavedené označenie  $\Pi$ .

Trojitý príznak je získaný pomocou trojice operácií, ktoré postupne znižujú počet rozmerov dát. Výpočty sú realizované prostredníctvom *funkcionálov* – prvý,  $T$ , získa z obrazu v odtieňoch sivej „trace“ funkciu  $s(\rho, \theta)$ . Táto funkcia je rovnako dvojrozmerná, použitie „circus“ funkcionálu  $P$  na stĺpce trace funkcie  $s(\rho, \theta)$  však spôsobí redukciu počtu rozmerov dát. Výsledná circus funkcia  $c(\theta)$  je už vektorom. Posledný funkcionál,  $\Theta$ , sa používa na výpočet trojitého príznaku  $\Pi$  z circus funkcie  $c(\theta)$ .

Označenie funkcionál znamená výpočet rôznych operácií – integrácie, resp. sumácie, gradientov, štatistických parametrov (napr. medián, extrém) alebo veľkostí transformačných koeficientov po rýchlej Fourierovej transformácii (angl. Fast Fourier Transform, FFT). Rôzne kombinácie funkcionálov slúžia na výber trojitého príznaku  $\Pi$ , ktorý môže mať nasledujúce vlastnosti:

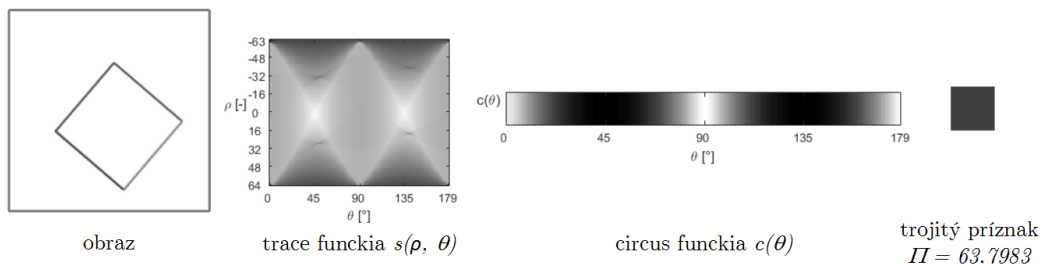
- nezávislosť na posune, otáčaní, alebo zmene mierky obrazca,
- citlivosť na vyššie spomenuté operácie.

Aplikáciou prvej z uvedených oblastí je rozpoznávanie obrazcov, ktorému sa bude venovať aj zvyšok článku. Pri trojitom príznaku  $\Pi$ , ktorý by bol citlivý na tieto operácie je možné uvažovať o použití v systéme na detekciu vykonania zmien v statickom obraze.

Jednotlivé funkcionály sú označované podľa ich použitia – nezávislé funkcionály sú zväčša označované písmenami  $F$  alebo  $I$ , prípadne ako  $IF$ . Citlivé funkcionály označuje písmeno  $Z$ .

Tabuľka 1  
 Vybraté funkcionály

Nezávislé funkcionály		Citlivé funkcionály	
$F_1$	$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx$	$Z_1$	$\{\int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx\} / F_1$
$F_2$	$\int_{-\infty}^{\infty}  f'(x)  dx$	$Z_2$	$x$ také, že platí $\int_{-\infty}^x f(x) dx = \int_x^{\infty} f(x) dx$
$F_3$	$\int_{-\infty}^{\infty} ( f(x) ^q dx)^r$	$Z_3$	$x$ také, že platí $\int_{-\infty}^x  f'(x)  dx = \int_x^{\infty}  f'(x)  dx$
$F_4$	$\int_{-\infty}^{\infty} (x - F_1)^2 f(x) dx$	$Z_4$	fáza prvej harmonickej $f(x)$
$F_5$	amplitúda druhej harmonickej $f(x)$	$Z_5$	fáza druhej harmonickej $f(x)$
$F_6$	$\max\{f(x)\} - \min\{f(x)\}$	$Z_6$	fáza tretej harmonickej $f(x)$
$F_7$	$\text{median}_x\{f(x),  f(x) \}$ $r = x - c, c = \text{median}_x\{x, f(x)\}$	$Z_7$	fáza štvrtej harmonickej $f(x)$
$F_8$	$\int_0^{\infty} r f(r) dr;$		
$F_9$	$\text{median}_{r \geq 0}\{f(r), \sqrt{f(r)}\};$ $r = x - c, c = \text{median}_x\{x, f(x)\}$		
$F_{10}$	$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) \cdot f(x+n) dx$		
$F_{11}$	$\sqrt{\frac{\int_{-\infty}^{\infty} (x - \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx)^2 \cdot f(x) dx}{\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx}}$		



Obr. 1 Použitie jednotlivých funkcionálov na získanie trojitého príznaku  $\Pi$

Podrobný prehľad používaných funkcionálov je možné nájsť v zdrojoch [1]-[5]. Vybraté často používané funkcionály obsahuje Tabuľka 1.

Kroky výpočtu trojitého príznaku  $\Pi$  ukazuje Obr. 1. V tomto prípade boli použité funkcionály  $F_1$  ako  $T$ ,  $F_{10}$  ako  $P$  a  $F_{11}$  ako  $\Theta$ .

### III. DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY

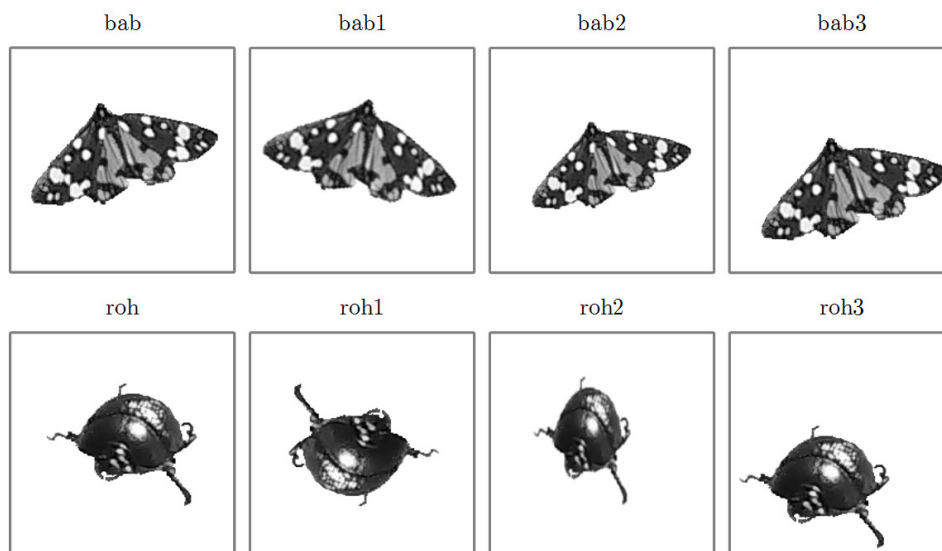
Rozpoznávanie obrazcov prostredníctvom TT je možné zdokonaľiť aj vnesením hodnôt jednotlivých trojitých príznakov  $\Pi_i$  na osi súradnicového systému [1]. Súbor obrazcov, na ktorých boli realizované experimenty ukazuje Obr. 2. Všetky použité statické obrázky mali rozlíšenie 200x200 op a farebnú hĺbku 8 bitov.

Prvý trojitý príznak,  $\Pi_1$  bol vypočítaný s použitím funkcionálov  $F_2$  ako  $T$  a  $F_7$  ako  $P$  a  $\Theta$ . Pri tomto funkcionáli, tzv. váhovanom mediáne je počet opakovaní hodnôt funkcie  $f(x)$  závislý na samotných hodnotách. Postupnosť [2; 1; 3] by mala po zopakovaní prvkov tvar [2; 2; 1; 3; 3; 3] a mediánom by teda bola hodnota 2,5. Pri výpočte druhého trojitého príznaku,  $\Pi_2$  sa použili funkcionály  $F_1$  ako  $T$ ,  $F_4$  ako  $P$  a  $F_6$  ako  $\Theta$ .

Hodnoty trojitých príznakov  $\Pi_1$  a  $\Pi_2$  ukazuje Tabuľka 2. Tieto hodnoty vnesené v súradnicovom systéme demonštruje Obr. 3.

### IV. ZÁVER

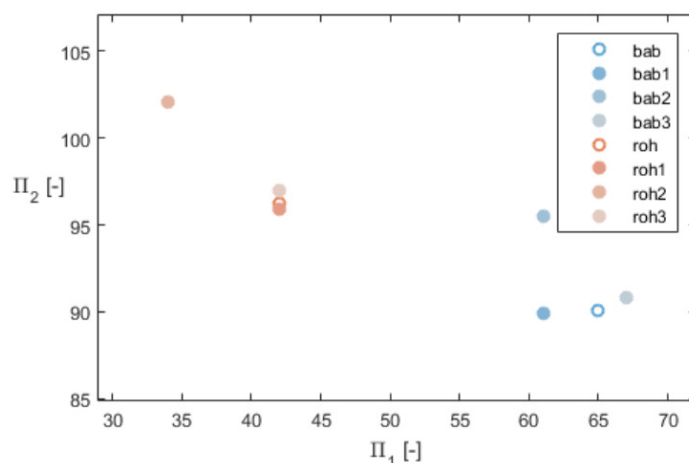
Z uvedených výsledkov vyplývajú vlastnosti použitých kombinácií funkcionálov – čiastočná nezávislosť na pootočení, zmene mierky a presune obrazca. Druhý trojitý príznak  $\Pi_2$  reaguje citlivejšie na zmenu mierky obrazca. Porovnaním hodnôt trojitých príznakov si môžeme všimnúť význam voľby funkcionálov. Rôzne voľby funkcionálov umožňujú veľké množstvo spôsobov výpočtu TT. Okrem TT existujú aj iné algoritmy extrakcie príznakov, napr. algoritmus SIFT.



Obr. 2 Obrazce použité na experimenty

Tabuľka 2  
 Hodnoty vypočítaných trojitých príznakov

	bab	bab1	bab2	bab3	roh	roh1	roh2	roh3
$\Pi_1$	65	61	61	67	42	42	34	42
$\Pi_2$	90,1126	89,9484	95,4828	90,8089	96,2516	95,8813	102,0346	96,9772



Obr. 3 Trojité príznaky vynesené na osiach súradnicového systému

#### POĎAKOVANIE

Práca na tomto príspevku bola podporená prostriedkami z nasledujúcich výskumných grantov: KEGA 023TUKE-4/2017 (Nové trendy v optickom prenose informácií) a VEGA 1/0772/17 (Lokalizácia osôb na základe detekcie ich vitálnych funkcií UWB senzormi krátkeho dosahu).

#### LITERATÚRA

- [1] A. Kadyrov, M. Petrou, „The Trace Transform and Its Applications,“ *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2001, vol. 23, no. 8, pp. 811–828. ISSN: 0162-8828. DOI: 10.1109/34.946986.
- [2] M. Petrou, A. Kadyrov, „Affine Invariant Features from the Trace Transform,“ *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2004, vol. 26, no. 1, pp. 30–44. ISSN: 0162-8828. DOI: 10.1109/TPAMI.2004.1261077.
- [3] J. Turán, P. Filo, „Invariant image retrieval system using trace transform,“ *Proceedings of Radioelektronika 2005*. Brno (Česká republika), 2005, pp. 136–139. ISBN: 978-80-2142-904-6.
- [4] J. Turán, D. Šiškovíčová, J. Turán Jr., P. Filo, L. Ovseník, „Trace Transform and KLT Based Invariant Features and Image Recognition System,“ *Acta Electrotechnica et Informatica*, 2006, vol. 6, no. 3, pp. 1–11. ISSN: 1335-8243.
- [5] J. Turán, D. Šiškovíčová, Z. Bojkovič, „Invariant Image Recognition Using Trace Transform and Function of Autocorrelation,“ *Proceedings of EUROCON 2005*. Belehrad (Srbsko a Čierna hora), 2005, pp. 187–190. ISBN: 978-14-2440-050-3.

# Metódy vektorového kvantovania s rozkladom pyramídy

Iveta GLADIŠOVÁ

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

iveta.gladisova@tuke.sk

**Abstrakt** —Vektorový kvantizátor s rozkladom pyramídy je kvantizátor, ktorého kvantizačné vektory ležiace na povrchu pyramídy sú vektory, ktoré vznikli ako prienik tejto pyramídy s mriežkou bodov. Článok sa zaoberá návrhom a simuláciou troch algoritmov vektorového kvantovania v tomto kvantizátore pre šesťnásťrozmerný priestor. Výsledkom simulácie základnej, rýchlej a veľmi rýchlej metódy vektorového kvantizátora s rozkladom pyramídy sú hodnoty kvantizačného šumu, pomeru signálu k šumu a to pri nájdení optimálnej hodnoty koeficienta mierky pre rôzne prenosové rýchlosti. Výsledkom je aj porovnanie počtu potrebných operácií v spomínaných troch algoritmoch.

**Kľúčová slová** — mriežka bodov, algoritmy vektorového kvantovania, 16-rozmerný priestor

## I. ÚVOD

Medzi suboptimálne vektorové kvantizátory charakteristické geometrickou štruktúrou kvantizačných vektorov [1], ktoré sú vhodné najmä pre postupnosť vzoriek s Laplaceovým rozdelením pravdepodobnosti, patrí vektorový kvantizátor s rozkladom pyramídy (VKRP). Zadeľujeme ho do skupiny pyramídových vektorových kvantizátorov [2], [3]. Kvantizačné vektory tvoria vektory (body) mriežky rôznych typov [4] - [6], ktoré ležia na povrchu mnohorozmerných pyramíd. Článok popisuje tri rôzne metódy vyhľadávania 16-rozmerných (16-R) kvantizačných vektorov, z toho dve s využitím rozkladu pyramídy s mriežkou buď typu  $D_{16}$  alebo s optimálnou Barnes-Wallovej mriežkou  $\Lambda_{16}$  [7]. Ďalej opisuje algoritmus vyhľadávania kvantizačných vektorov v tomto kvantizátore a v závere vyhodnocuje účinnosť kvantovania VKRP pri použití jednotlivých metód a tiež počet operácií (na zložku vektora) potrebných pri určovaní hľadaných kvantizačných vektorov. Najprv je však nutné zadať definovať nasledujúce pojmy používané v článku.

Globálny skelet (GS) reprezentuje časť kódovej knihy kvantizátora, ktorá obsahuje určitý počet kvantizačných vektorov. Celá kódová kniha kvantizačných vektorov sa dá rozložiť na konečný počet globálnych skeletov a GS pozostáva z konečného počtu subskeletov.

Subskelet je časť GS a je reprezentovaný vektorom subskeletu, ktorého zložky odpovedajú vzorom pyramíd v tzv. banke vzorov pyramíd.

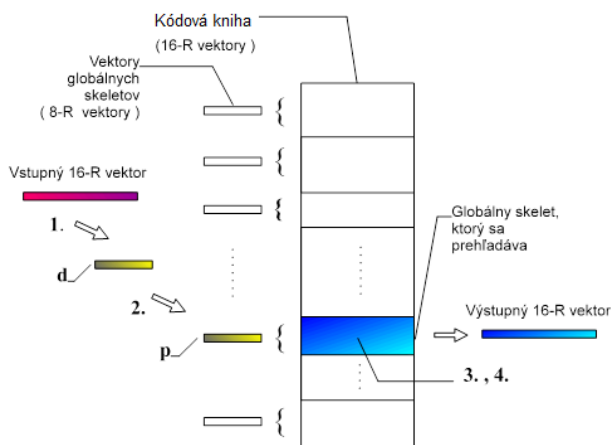
Banka vzorov pyramíd je skupina 2-R pyramíd daného polomeru s určenými bodmi mriežky, ktoré sa podieľajú na tvorbe výsledných kvantizačných vektorov.

## II. METÓDY VEKTOROVÉHO KVANTOVANIA VKRP

Môžeme vykonať nasledujúcu klasifikáciu nasledujúcich metód vektorového kvantovania VKRP:

**1. Základná metóda** - ide v podstate o vygenerovanie celej kódovej knihy VKRP a následné vyhľadanie najbližšieho kvantizačného vektora pomocou výpočtu euklidovskej vzdialenosti. Je to časovo najnáročnejšia metóda, ktorá poskytuje najlepšiu hodnotu pomeru signálu k šumu (S/Š). Takto získaná hodnota je referenčnou hodnotou pre ďalšie metódy vektorového kvantovania.

**2. Rýchla metóda** - jej princíp spočíva v tom, že pri vyhľadávaní kvantizačného vektora neprehľadávame celú kódovú knihu VKRP, ale len jej určitú časť, čím dochádza k značnej redukcii matematických operácií. Jej princíp je znázornený na obr.1.



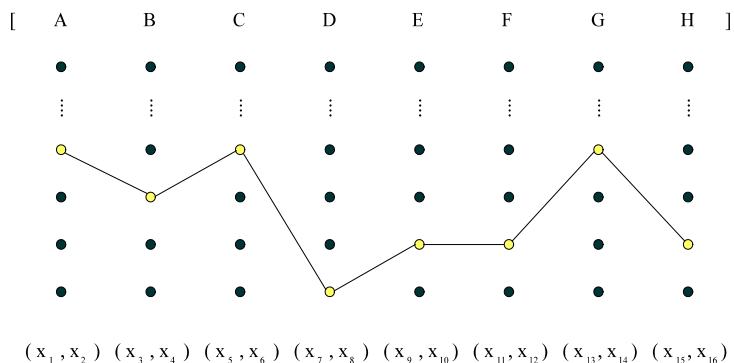
Obr. 1 Princíp rýchlej metódy kvantovania.

Algoritmus rýchlej metódy možno rozdeliť na päť krokov:

1. *Krok:* Vstupný 16-R vstupný vektor  $\mathbf{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_{16}\}$  sa upraví na 8-R vektor tvaru  $\mathbf{d} = \{A, B, C, D, E, F, G, H\}$ , kde A predstavuje súčet absolútnych hodnôt prvých dvoch zložiek vstupného vektora, B ďalších dvoch a tak ďalej, t.j.  $A = |x_{p1}| + |x_{p2}|$ ,  $B = |x_{p3}| + |x_{p4}|, \dots, H = |x_{p15}| + |x_{p16}|$ .
2. *Krok:* Nájdenie takého 8-R vektora  $\mathbf{p}$  z množiny vektorov globálneho skeletu (GS) a všetkých ich modifikácií, ktorý má najmenšiu euklidovskú vzdialenosť s vektorom  $\mathbf{d}$ .
3. *Krok:* Vygenerovanie 16-R kvantizačných vektorov patriacich do daného GS, ktorý je popísaný vektorom  $\mathbf{p}$ .
4. *Krok:* Vstupný 16-R vektor  $\mathbf{X}$  sa potom porovnáva na základe euklidovskej vzdialenosti s vektormi prislúchajúcimi danému GS. Kvantizačný vektor s najmenšou euklidovskou vzdialenosťou bude považovaný za vektor, ktorým sa daný vstupný vektor kvantuje.
5. *Krok:* Pre zadaný počet vstupných vektorov sa vypočíta výsledná stredná kvadratická hodnota kvantizačného šumu a pomer S/Š.

**3. Veľmi rýchla metóda** - táto metóda sa oproti predchádzajúcej líši v tom, že krok č. 3 je vynechaný a krok č. 4, je nahradený krokom 4':

- 4'. *Krok:* Vstupný 16-R vektor sa rozdelí na osem dvojrozmerných subvektorov tvaru:  $(x_1, x_2), (x_3, x_4), \dots, (x_{15}, x_{16})$ , ako je to znázornené na obr.2. Tmavé body naznačené pod ôsmimi polomeri 2-R pyramíd vo vektore globálneho skeletu  $\mathbf{p}$ , reprezentujú 2-R body ležiace na týchto pyramídach. Na jednotlivých 2-R pyramídach sa potom pomocou výpočtu euklidovskej vzdialenosti určia tie body, ktoré majú najmenšiu euklidovskú vzdialenosť k prislúchajúcim vstupným 2-R subvektorom. Na obr.2 sú znázornené žltou farbou. Výsledný kvantizačný vektor potom vytvoríme zoskupením súradníc týchto 2-R bodov  $(a_1, a_2), (a_3, a_4), \dots, (a_{15}, a_{16})$ , čo je na obr.2 reprezentované ich spojnicou.



Obr. 2 Princíp veľmi rýchlej metódy.

Veľmi rýchla metóda poskytuje najväčšiu úsporu matematických operácií, ale súčasne pri nej očakávame aj najnižšiu hodnotu pomeru S/Š oproti dvom predchádzajúcim metódam, avšak s nie výrazným rozdielom.

### III. ALGORITMUS VYHĽADÁVANIA KVANTIZAČNÝCH VEKTOROV VKRP

Prvým krokom je nájdenie najbližšieho vektora GS pre pyramídu so zvoleným polomerom. To je prevedené pomocou výpočtu euklidovskej vzdialenosti medzi všetkými vektormi



reprezentujúce globálne skelety a spomínaným vstupným vektorom  $\mathbf{d}$ . Každý GS je vyjadrený svojim osemrozmerným vektorom  $\mathbf{p} = \{p_1, p_2, \dots, p_8\}$  a jeho príslušnými modifikáciami. Pri vytváraní modifikácií treba dbať na to, že vytvárame len minimálny počet modifikácií, t.j. modifikácie sa nesmú opakovať.

Pre každý skelet vyjadrený vektorom  $\mathbf{p}$  a jeho modifikáciami sa vypočíta euklidovská vzdialenosť so vstupným normovaným subvektorom  $\mathbf{X}_n$  podľa nasledujúceho vzťahu

$$(A - p_1)^2 + (B - p_2)^2 + \dots + (H - p_8)^2. \quad (1)$$

Najmenšia euklidovská vzdialenosť určí globálny skelet, ktorý sa bude ďalej podrobnejšie prehľadávať.

*Druhým krokom* je samotné kvantovanie normovaného vstupného vektora  $\mathbf{X}_n$  kvantizačnými vektormi príslušného globálneho skeletu, určeného prvým krokom. To je realizované tak, že pre daný GS sa vypočítajú súradnice bodov ležiacich na jednotlivých vzoroch 2-R pyramíd, uložia sa do pamäti a z nich sa vytvárajú kombináciami kvantizačné vektory. Pre každý kvantizačný vektor sa počíta euklidovská vzdialenosť od 16-R normovaného vstupného vektora  $\mathbf{X}_n$  a hľadá sa opäť minimálna hodnota. Kvantizačný vektor  $\mathbf{a}_{\min}$  s minimálnou hodnotou euklidovskej vzdialenosti sa potom odnormuje na vektor  $\mathbf{a}_p$ . Pri veľmi rýchlej metóde sa vstupný normovaný 16-R vektor  $\mathbf{X}_n$  rozdelí na osem 2-R subvektorov a pre každý jeho subvektor sa vyhledá bod s minimálnou euklidovskou vzdialenosťou ležiaci na príslúchajúcej 2-R pyramíde. Zoskupením súradníc všetkých 2-R bodov sa získa kvantizačný vektor  $\mathbf{a}_{\min}$ , ktorý sa potom späť odnormuje na vektor  $\mathbf{a}_p$ .

V navrhnutom simulačnom programe pre 16-R VKRP ako prvé nasleduje načítanie vstupných parametrov a vstupných zložiek  $x_i$  vektorov. Po načítaní sa z nich vytvorí vstupný vektor  $\mathbf{X}$  s počtom zložiek 16. Tento vstupný 16-R vektor je normovaný koeficientom mierky na normovaný vstupný vektor  $\mathbf{X}_n$ . Na základe výberu metódy prehľadávania VKRP (základná, rýchla alebo veľmi rýchla) sa zvolí spôsob nájdenia najbližšieho kvantizačného vektora  $\mathbf{a}_{\min}$ , t.j. buď prehľadanie všetkých kvantizačných vektorov, alebo prehľadanie len kvantizačných vektorov patriacich do najbližšieho globálneho skeletu, alebo sa kvantizačný vektor vytvorí zoskupením najbližších bodov v 2-R pyramídach.

Ďalším krokom v programe je odnormovanie nájdeného kvantizačného vektora  $\mathbf{a}_{\min}$  na vektor  $\mathbf{a}_p$ . Okvantovaním vstupného vektora  $\mathbf{X}$  kvantizačným vektorom  $\mathbf{a}_p$  vznikne chybový vektor  $\mathbf{X} - \mathbf{a}_p$ , ktorý vnaša do systému istý kvantizačný šum. Výpočet kvadrátu normy vektora kvantizačného šumu sa určí podľa vzťahu:

$$\sigma_{qi}^2 = \|\mathbf{X} - \mathbf{a}_p\|^2. \quad (2)$$

Po okvantovaní všetkých vstupných vzoriek sa uskutoční výpočet celkovej kvantizačnej chyby podľa vzťahu:

$$\sigma_q^2 = \frac{1}{16T} \sum_{i=1}^T \sigma_{qi}^2, \quad (3)$$

kde T je počet vstupných vektorov. Výsledkom návrhu VKRP je dosiahnutá hodnota výslednej kvantizačnej chyby  $\sigma_q^2$  a maximálna hodnota odstupe signál/kvantizačný šum (S/Š).

#### IV. SIMULÁCIA A ZHODNOTENIE DOSIAHNUTÝCH VÝSLEDKOV

V programových prostriedkoch pre VKRP používateľ môže zadaním vstupných parametrov navoliť: polomer 16-R pyramídy  $K \in (2, 4, 8, 10)$ , typ 16-R mriežky ( $\Lambda_{16}$  alebo  $D_{16}$ ), metódu prehľadávania (základnú, rýchlu, veľmi rýchlu), počet vstupných 16-R vektorov, koeficient mierky  $c$ , názov vstupného a výstupného súboru.

Program je rozdelený na niekoľko logických blokov:

- 1 - *Načítanie* - v tejto časti programu sa načítavajú vstupné údaje v binárnom tvare. Vstupný a výstupný súbor musia mať nasledovný formát: prvých osem bajtov je hlavička súboru tvaru 01 01 01 01 01 01 01 01 (Hex). V ďalších bajtoch sú zaznamenané desatinné (float) čísla, t.j. skaláry, pričom každý takýto skalár je vyjadrený v štyroch bajtoch.
- 2 - *Určenie vektora GS* - prebieha podľa prvého kroku opísaného vyššie. Pre každý GS je v súbore uložený jemu príslúchajúci vektor GS. Podľa zvoleného polomeru pyramídy  $K$  sa vyberie súbor zo skupinou vektorov GS, príslúchajúcich danej voľbe. Pri mriežke  $\Lambda_{16}$  sú ešte zapamätané v súboroch ku každému GS aj vektory príslušných subskeletov.
- 3 - *Prehľadávanie v najbližšom GS* - uskutočňuje sa podľa druhého kroku, ako to bolo opísané v článku vyššie. Generovanie kvantizačných vektorov je prevedené pomocou vnorených cyklov, pričom v každom sa určia 2-R súradnice jedného bodu, t.j. dve zložky 16-R kvantizačného vektora. Program tak obsahuje osem vnorených cyklov. Pri veľmi rýchlej metóde sú v ôsmich poliach zaznamenané 2-R body ležiace na ôsmich 2-R pyramídach. Veľkosť polí sa dynamicky mení podľa počtu bodov. Potom sa v jednom cykle určí pomocou výpočtu euklidovskej vzdialenosti osem najbližších 2-R bodov.

Výsledný kvantizačný vektor, ktorým sa bude kvantovať vstupný vektor  $\mathbf{X}$ , je ukladaný do výstupného súboru v binárnom tvare.

- 4 - *Základná metóda* - v tejto časti programu sa hľadá najbližší kvantizačný vektor ku vstupnému vektoru  $\mathbf{X}$  na základe úplného prehľadávania vektorov kódovej knihy kvantizátora pre prienik pyramídy s mriežkou  $D_{16}$ , resp.  $\Lambda_{16}$ . Kvantizačné vektory sú generované pomocou vektorov GS, ale bez ich modifikácií. Tieto vektory sú zapamätané v súbore. Výsledný kvantizačný vektor sa ukladá do výstupného súboru v binárnom tvare.

Čo sa týka *výpočtovej náročnosti* navrhnutého algoritmu VKRP, tak podstatnú časť matematických operácií rýchleho kvantovacieho algoritmu tvorí výpočet euklidovskej vzdialenosti. To predstavuje matematické operácie sčítania, ktoré sa vykonajú  $v-1$  krát ( $v$  - rozmer vektora) a operácie odčítania a násobenia, ktoré sa vykonajú  $v$ -krát. Keďže program pracuje iba s mriežkami  $\Lambda_{16}$  a  $D_{16}$ , je rozmer priestoru  $v = 16$ . Potom pre jeden 16-R vstupný vektor  $\mathbf{X}$  a pre jeden 16-R kvantizačný vektor  $\mathbf{a}$  sa vykonajú operácie sčítania a odčítania 31-krát a operácie násobenia 16 krát. Pre výpočet euklidovskej vzdialenosti pri určovaní najbližšieho vektora globálneho skeletu medzi jedným 8-R vektorom  $\mathbf{d}$  a 8-R vektorom  $\mathbf{b}$  vyjadrujúcim GS, sa operácie sčítania a odčítania vykonajú 15-krát a operácie násobenia 8 krát. Výpočtová náročnosť algoritmu s úplným prehľadávaním je mnohokrát väčšia.

Program simulácie VKRP bol použitý pre okvantovanie 22 000 testovacích 16-R vstupných vektorov s Laplaceovým rozdelením pravdepodobnosti. Pre model vstupnej postupnosti platilo, že vektory mali štatisticky nezávislé zložky s nulovou strednou hodnotou a jednotkovou disperziou. Program umožňuje pracovať so 16-R mriežkou  $D_{16}$  resp. s optimálnou mriežkou  $\Lambda_{16}$  pre pyramídy s polomerom  $K = 2, 4, 8, 10$ . Hodnote polomeru  $K$  zodpovedá určitý počet kvantizačných vektorov  $N$ , na základe ktorého sa určovala prenosová rýchlosť  $n$  v bit/zložku. Porovnávala sa účinnosť VKRP pri použití základnej metódy, rýchlej metódy a veľmi rýchlej metódy na vyhľadanie kvantizačného vektora.

V tabuľke 1 sú dosiahnuté výsledky účinnosti kvantovania simulovaného VKRP s troma uvedenými metódami, a to  $\sigma_q^2$  a pomer signál/šum ( $S/\check{S}$ ), pri použití optimálnej mriežky  $\Lambda_{16}$  a suboptimálnej mriežky  $D_{16}$  pre konkrétne vybranú prenosovú rýchlosť údajov  $n$  rovnú približne 1 bit/zložku vektora. V tejto tabuľke sú uvedené aj ďalšie zistené parametra: polomer celočíselnej pyramídy  $K$ , zodpovedajú počet kvantizačných vektorov  $N$ , experimentálne nájdené optimálna hodnota koeficienta mierky  $c_{opt}$ .

Tab.1 Porovnanie troch metód VKRP pri približne rovnakej prenosovej rýchlosti  $n$  [bit/zl] a pri použití dvoch rôznych mriežok

Počet vstup. vektorov $T = 22\ 000$	Základná metóda	Mriežka $\Lambda_{16}$	Počet vstup. vektorov $T = 22\ 000$	Základná metóda	Mriežka $D_{16}$
Polomer pyramídy $K = 8$	$S/\check{S}$ (dB)	$\sigma_q^2$	Polomer pyramídy $K = 4$	$S/\check{S}$ (dB)	$\sigma_q^2$
	5,4243	0,2867		5,3162	0,293
Počet kvantizač. vektorov $N = 47\ 872$	Rýchla metóda	Mriežka $\Lambda_{16}$	Počet kvantizač. vektorov $N = 44\ 032$	Rýchla metóda	Mriežka $D_{16}$
	$S/\check{S}$ (dB)	$\sigma_q^2$		$S/\check{S}$ (dB)	$\sigma_q^2$
$n$ (bit/zl) = 0,9717	5,1487	0,3059	$n$ (bit/zl) = 0,9641	5,0705	0,3109
	Veľmi rýchla metóda	Mriežka $\Lambda_{16}$		Veľmi rýchla metóda	Mriežka $D_{16}$
Koeficient mierky $c_{opt} = 1,25$	$S/\check{S}$ (dB)	$\sigma_q^2$	Koeficient mierky $c_{opt} = 0,65$	$S/\check{S}$ (dB)	$\sigma_q^2$
	5,0808	0,3102		4,9993	0,3161

V tabuľke 2 sú uvedené počty operácií na zložku vektora pri vyhľadávaní kvantizačného vektora VKRP pri všetkých troch spomínaných metódach kvantovania, pri použití dvoch typov mriežok a pri takých istých nastavených parametroch, aké boli použité v Tab.1.

Tab.2 Porovnanie počtu matematických operácií troch metód VKRP


Mriežka $\Lambda_{16}$ K = 8	Základná metóda	Rýchla metóda	Veľmi rýchla metóda
*:/ [operácií/zl.]	47 874	8 374	184,88
+/- [operácií/zl.]	95 744	16 744,5	366,25
Mriežka $D_{16}$ K = 4	Základná metóda	Rýchla metóda	Veľmi rýchla metóda
*:/ [operácií/zl.]	44 034	8 359	169,88
+/- [operácií/zl.]	184 322	16 714,5	336,25

Z dosiahnutých výsledkov vyplynuli nasledujúce skutočnosti, ktoré zodpovedali teoretickým predpokladom:

- V prípade použitia mriežky  $\Lambda_{16}$  sme dosiahli lepší pomer S/Š ako pri použití mriežky typu  $D_{16}$ , čo je spôsobené tým, že mriežka  $\Lambda_{16}$  je optimálnou mriežkou pre daný rozmer.
- Pre daný rozmer sa so zväčšujúcou prenosovou rýchlosťou n zvyšovala účinnosť vektorového kvantizátora.
- Použitím algoritmu základnej metódy prehľadávania pri rovnakom polomere K u oboch typov mriežok bol pomer S/Š lepší, ako pri algoritme rozkladu pyramíd na GS (rýchla metóda). Tento pokles o 0,15 až 0,28 dB je zapríčinený spôsobom vyhľadávania vektora GS. Ide hlavne o tie GS, ktoré majú podobné vektory vyjadrujúce daný skelet. Tento malý pokles účinnosti je však kompenzovaný mnohonásobným zrýchlením výpočtu oproti základnej metóde, čo je možné vidieť aj pri porovnaní počtu operácií v tab.2.
- Aplikovaním optimálnej hodnoty koeficientu mierky c je možné zvýšiť pomer S/Š. Optimálna hodnota tohto koeficienta sa určí experimentálne ako hodnota  $c_{opt}$ , pri ktorej VKRP dosiahne maximálnu hodnotu S/Š.

## V. ZÁVER

Navrhnuté algoritmy vektorového kvantizátora s rozkladom pyramídy je možné vylepšiť napr. použitím sústredných pyramíd, t.j. využívaním aj predchádzajúcich globálnych skeletov príslušných pyramíd. Ďalšie zlepšenie daného kvantizátora by mohlo nastať pri aplikácii zdroja s nelineárnym rozdelením pravdepodobností a následným váhovaním vstupných vzoriek. Malou úpravou programu sa dá dosiahnuť možnosť použitia daného vektorového kvantizátora pre mriežky s celočíselnými zložkami rozmerov typu  $Z_1$ ,  $Z_3$  a  $Z_5$ .

 <p><b>UVP</b> <b>TECHNICOM</b></p>	<p><i>Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj, pre projekt: <b>Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií, kód ITMS: 26220220182</b>, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja. Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku / Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.</i></p>
--	---

Podakovanie patrí aj Ing. Františkovi Dorákovi, ktorý sa podieľal na riešení tejto problematiky.

## LITERATÚRA

- [1] Gladišová, I. - Mihalík, J.: Geometrické vektorové kvantizátory. LČSOV FEI TU Košice, 2013.
- [2] Fischer, T. R.: A Pyramid Vector Quantizer. IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 32, Issue 4, 1986, p. 568-583.
- [3] Valin, J.M.: Pyramid Vector Quantization for Video Coding, Sept.2013, [online]: < <http://jmvalin.ca/slides/pvq.pdf> >
- [4] Khandelwal, R. R. – Purohit, P. K. – Shrivastava, S. K.: Lattice Vector Quantization for Image Coding Using Expansion of Codebook. The International Journal of Multimedia & Its Applications (IJMA), Vol.4, No.4, August 2012, p. 11-16.
- [5] Jeong, D.G. – Gibson, J.D.: Uniform and piecewise uniform lattice vector quantization for memoryless Gaussian and Laplacian sources, IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 39, Issue 3, 1993, p. 786 – 804.
- [6] Gibson, J.D.: Lattice quantization. Advances in Electronics and Electron Physics, Vol.72, Issue C, 1988, p.259-330.
- [7] Mihalík, J. - Gladišová, I. - Michalčín, V.: Decomposed Pyramid Vector Quantization by using Barnes-Wall Lattice. 11-th Int. Scien. Conf. "Radioelektronika 2001", Brno, Czech, p.400-403, 2001.

# Analýza atmosférického prenosového kanála v prostredí OptSim

<sup>1</sup>Luboš OVSEŇÍK, <sup>2</sup>Ján TURÁN, <sup>3</sup>Michal MÁRTON, <sup>4</sup>Peter POPAĎÁK

<sup>1,2,3,4</sup>Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>lubos.ovsenik@tuke.sk, <sup>2</sup>jan.turan@tuke.sk, <sup>3</sup>michal.marton@tuke.sk,  
<sup>4</sup>peter.popadak@student.tuke.sk

**Abstrakt** — Cieľom tohto článku je opis problematiky prenosu informácií voľným prostredím, známej tiež pod názvom Free Space Optics (FSO) a skúmaniu atmosférických vplyvov na tento prenos. Pre analýzu týchto systémov je využitý program OptSim a Matlab. Pri simuláciách sú použité parametre skutočných poveternostných podmienok (hmla, dažď, sneh). Táto práca je zameraná na vytvorenie FSO topológie, ktorá čo najvernejšie kopíruje vlastnosti, parametre a podmienky prenosu FSO linky využívanej v areáli Technickej univerzity v Košiciach. Prostredníctvom nej je odsimulovaný negatívny vplyv počasia na prenos pomocou FSO systému.

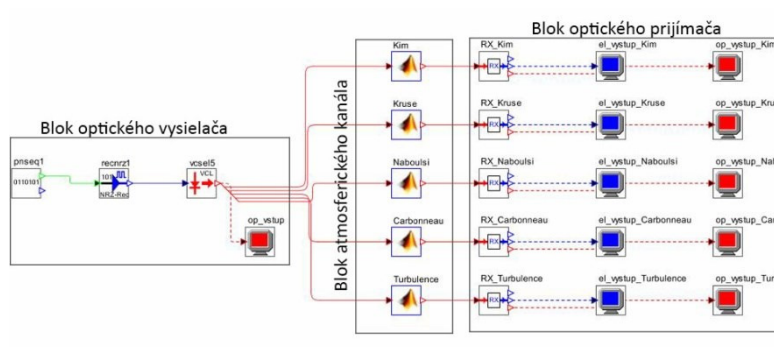
**Kľúčové slová** — atmosférický kanál, FSO, Matlab, OptSim, prenos informácií

## I. ÚVOD

V dnešnej dobe sa komunikácia pomocou FSO (Free Space Optics) systémov stáva bezdrôtovou alternatívou káblovej optiky pre svoju vysokú priepustnosť. Táto komunikácia si v posledných rokoch získala veľkú pozornosť ako nákladovo efektívna, voľne licencovaná, s veľkou šírkou pásma prístupu pre aplikácie s vysokým dátovým tokom. FSO signál sa šíri od vysielača ku prijímaču pomocou tenkého svetelného lúča, ktorý môže byť ovplyvnený atmosférickými turbulenciami a tienením spôsobeným hmlou, dažďom, snehom alebo mrakmi, čo spôsobuje zníženie prenášaného optického výkonu, a teda možnosť straty spojenia [1,2].

## II. ANALÝZA ATMOSFÉRIKÉHO PRENOSOVÉHO KANÁLA

Na Obr. 1 je návrh zapojenia pre simuláciu atmosférických kanálov programom prostriedku OptSim.



Obr.1. Zapojenie FSO linky vytvorené v simulačnom prostredí OptSim.

Zapojenie sa skladá z troch základných častí:

1. Blok optického vysielača pozostáva z generátora bitov, NRZ modulátora a z VCSEL lasera, ktorý umožňuje nastavenie vlnovej dĺžky.
2. Blok atmosférického kanála je tvorený CCM blokmi. Každý z blokov obsahuje jeden model atmosférického útlmu. Sú vytvorené pomocou programu Matlab.
3. Blok optického prijímača pozostáva z RX blokov, ktoré obsahujú APD fotodiódu, NRZ demodulátor a Lorentzian filter.

### III. SIMULÁCIA ATMOSFÉRICKÉHO PRENOSOVÉHO KANÁLA

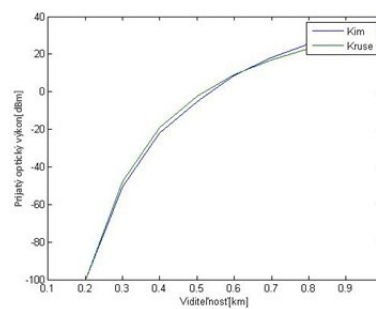
Pri simuláciách boli použité parametre hlavice LightPointe Flight Strata 155E ( $\lambda = 850 \text{ nm}$ ), pretože je táto FSO linka reálne používaná v areáli Technickej univerzity v Košiciach.

Výsledky experimentov zameraných na vplyv atmosférických útlmů rôznych modelov na FSO linku boli navzájom porovnané v troch skupinách. Prvá skupina porovnáva viac modelov viditeľnosti, a to Kim, Kruse a Naboulsi. V druhej skupine sa porovnávajú výsledky simulácií pre modely zrážok mokrého a suchého snehu s modelom zrážok Carbonneau. V poslednej skupine sa nachádza model závislosti atmosférického útlmu od turbulencií. Výsledky experimentov sú znázornené v nasledujúcej časti práce v jednotlivých grafoch. Vstupné parametre všetkých simulácií sa nachádzajú v Tab. 1.

Tab. 1  
 Vstupné parametre experimentu

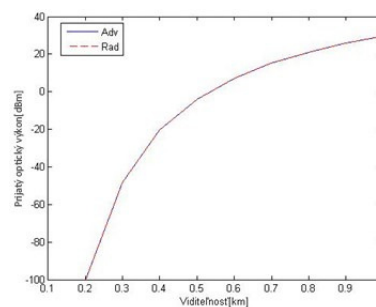
Parameter	Hodnota
Bitová rýchlosť	$0.155e^9 \text{ bit/s}$
Vlnová dĺžka	850 nm
Vzdialenosť	1 km
Viditeľnosť	od 0 do 1 km
Zrážky (Rain/Snow)	od 0 do 10 mm/hr
Index lomu ( $C_n^2$ )	od $10^{-16}$ do $10^{-13} \text{ m}^{-2/3}$

Z Obr. 2 je možné usúdiť, že modely viditeľnosti Kim a Kruse sú si svojimi výslednými hodnotami dosť podobné.



Obr.2. Závislosť prijatého optického výkonu od pre modely viditeľnosti Kim a Kruse.

Z porovnania dvoch modelov na Obr. 3 Naboulsi Adv. a Naboulsi Rad. je vidieť, že krivky prijatého optického výkonu v závislosti od viditeľnosti sú pre obidva modely zhodné. Výsledné hodnoty simulácie sú podobné výsledným hodnotám modelov viditeľnosti Kim a Kruse.



Obr.3. Závislosť prijatého optického výkonu od viditeľnosti pre modely Naboulsi.

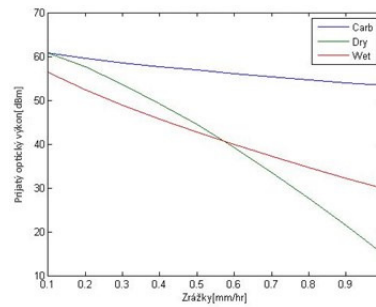
Na Obr. 4 je možné sledovať útlm prijatého optického výkonu v závislosti od množstva zrážok. Carbonneau model pre dažď nespôsobuje taký útlm prijatého optického výkonu ako je to v prípade modelov mokrého (Wet) a suchého (Dry) snehu. Hodnoty parametrov  $a$  a  $b$  pre modely mokrého a suchého snehu sú väčšie než hodnoty parametrov pri daždi ( $a=1,076$  a  $b=0,67$ ). Parametre  $a$  a  $b$  sú v prípade suchého snehu rovné:

$$a = 5,42 \cdot 10^{-5} \lambda + 5,4958776 \quad b = 1,38, \quad (1)$$

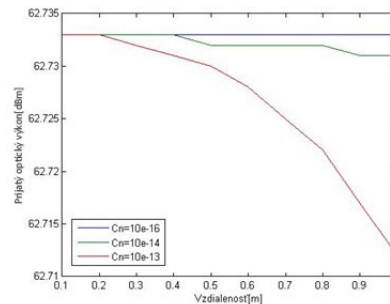
a v prípade mokrého snehu sú hodnoty parametrov rovné

$$a = 1,023 \cdot 10^{-4} \lambda + 3,7855466 \quad b = 0,72, \quad (2)$$

kde  $\lambda$  reprezentuje použitú vlnovú dĺžku v nm.



Obr.4. Závislosť prijatého optického výkonu od zrážok pre modely mokrého, suchého snehu a modelu Carbonneau.



Obr. 5. Závislosť prijatého optického výkonu od vzdialenosti medzi FSO linkou pre model turbulencie pri  $\lambda=850$ nm.

Zo získaných hodnôt uvedených na Obr. 5 je možné usúdiť, že silná turbulencia pri hodnote  $C_n^2=10e^{-13}$  má väčší dopad na prijatý optický výkon ako mierna turbulencia pri hodnote  $C_n^2=10e^{-14}$ . Zároveň je možné vidieť, že slabá turbulencia pri hodnote  $C_n^2=10e^{-16}$  má zanedbateľný, resp. nemá žiadny vplyv na hodnotu prijatého optického výkonu.

#### IV. ZÁVER

Vytvorená FSO linka pracuje s vlnovou dĺžkou 850 nm a bitovou rýchlosťou 155 Mbit/s. Je tvorená vysielateľom s VCSEL laserom a prijímačom využívajúcim APD fotodiódu a Lorenzian filterom. Blok atmosférického kanála je tvorený 8 modelmi. Obsahuje modely pre simuláciu atmosférického útlmu hmly, dažďa, snehu a atmosférického útlmu vplyvom turbulencií. Každý z týchto modelov bol navrhnutý v programovom prostredí Matlab.

Z výsledkov simulácií pre skupinu, v ktorej sú porovnávané modely pre atmosférický útlm hmly, medzi ktoré patria Kim, Kruse a Naboulsiho modely hmly je možné usúdiť, že všetky modely si boli podobné a so zväčšujúcou sa viditeľnosťou medzi FSO hlavicami narastal prijatý optický výkon.

Pre druhú skupinu simulácií boli vybrané modely pre dažď a sneh, keďže hlavným faktorom bolo množstvo zrážok. Na výsledných grafoch je možné sledovať, ako sa znižoval prijatý optický výkon s narastajúcimi zrážkami. V tomto prípade nemal atmosférický útlm dažďa až taký vplyv na prijatý optický výkon ako rôzne typy snehu.

V poslednej skupine je analyzovaný atmosférický útlm pre model turbulencií pri pracovnej vlnovej dĺžke 850 nm. Z výsledkov simulácií je možné sledovať, že najväčší dopad na prijatý optický výkon má silná turbulencia.

#### POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou (KEGA) Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky na základe projektu č. 023TUKE-4/2017. Táto práca je tiež výsledkom zmluvy č. VEGA 1/0772/17 - Lokalizácia osôb na základe detekcie ich vitálnych funkcií UWB senzormi krátkého dosahu.

#### LITERATÚRA

- [1] A. Kaur and M. L. Singh,, "Comparing the Effect of Fog and Snow Induced Attenuation on Free Space Optics (FSO) and RF Links", International Journal of Computer Science and Technology, vol.3, 2012, pp. 554-556.
- [2] B. Epple, "Simplified Channel Model for Simulation of Free-Space Optical Communications", International Journal of Engineering Science and Technology, vol. 2, 2011.

# Analýza FSO systémov v prostredí OptSim

<sup>1</sup>Luboš OVSEŇÍK, <sup>2</sup>Ján TURÁN, <sup>3</sup>Michal MÁRTON, <sup>4</sup>Peter POPAĎÁK

<sup>1,2,3,4</sup>Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>lubos.ovsenik@tuke.sk, <sup>2</sup>jan.turan@tuke.sk, <sup>3</sup>michal.marton@tuke.sk,  
<sup>4</sup>peter.popadak@student.tuke.sk

**Abstrakt** — Cieľom tohto článku je opis problematiky prenosu informácií voľným prostredím, známej tiež pod názvom Free Space Optics (FSO) a skúmaniu atmosférických vplyvov na tento prenos. Pre analýzu týchto systémov je využité programové prostredie OptSim. Pri simuláciách sú použité parametre skutočných vysielacích hlavíc pracujúcich na vlnových dĺžkach 625, 850 a 1550nm.

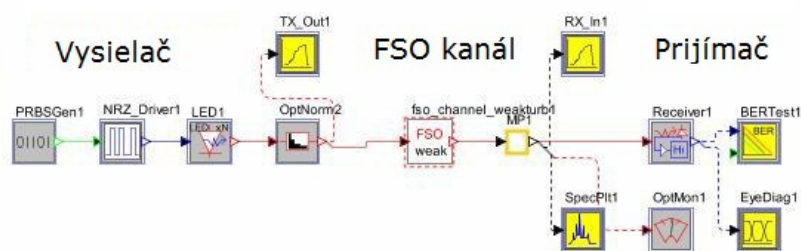
**Kľúčové slová** — FSO, OptSim, prenos informácií

## I. ÚVOD

Optický systém FSO je typ optickej komunikačnej technológie používajúcej svetlo šíriace sa voľným prostredím, ktoré slúži na bezvláknový prenos dát. Dáta sú prostredníctvom modulácie naviazané na infračervený zväzok lúčov. Dokážu prenášať dáta na vzdialenosť 14 kilometrov. FSO systémy nie sú v porovnaní s vláknovou optikou natoľko cenovo náročné. Vytvorenie optickej siete nevyžaduje úpravy terénu a taktiež nie je potreba žiadať telekomunikačný úrad o udelenie licencie, keďže pracujú v nelicencovanom pásme. Potrebujú však stabilnú a odolnú konštrukciu voči poveternostným vplyvom, otrasom a sú náchylné na atmosférické útlmy, ako sú hmla, dážď, sneh a turbulencia. Tieto systémy tiež vyžadujú priamu viditeľnosť. Pracovná vlnová dĺžka týchto systémov je 625 nm, 850 nm a 1550 nm. Dosiahnuté štúdie preukázali, že hmla má najväčší dopad na kvalitu prenosu [1-3].

## II. ANALÝZA FSO SYSTÉMOV

Analýza FSO systémov pri vlnových dĺžkach 1550 nm, 850 nm a 625 nm je spracovaná za pomoci programového prostredia OptSim. OptSim využíva zapojenie FSO systému na základe modelu slabo turbulentnej aproximácie [1]. FSO linku je možné zložiť z vysielача, FSO kanála a prijímača. Väčšina súčasných systémov FSO používa vo vysielачoch buď LED diódy, alebo polovodičové lasery (napr. VCSEL - Vertical Cavity Surface-Emitting Lasers) vyžarujúce pri vlnovej dĺžke 800 – 850 nm alebo 1500 – 1550 nm. Laser môže byť buď CW (Continuous Wave) s externou moduláciou, alebo priamo modulovaný (napr. s NRZ OOK – Non Return to Zero On Off Keying alebo DPSK - Differential Phase Shift Keying). Prijímače môžu byť vybavené detektormi na báze PIN alebo APD (Avalanche Photodiode) [4-7].



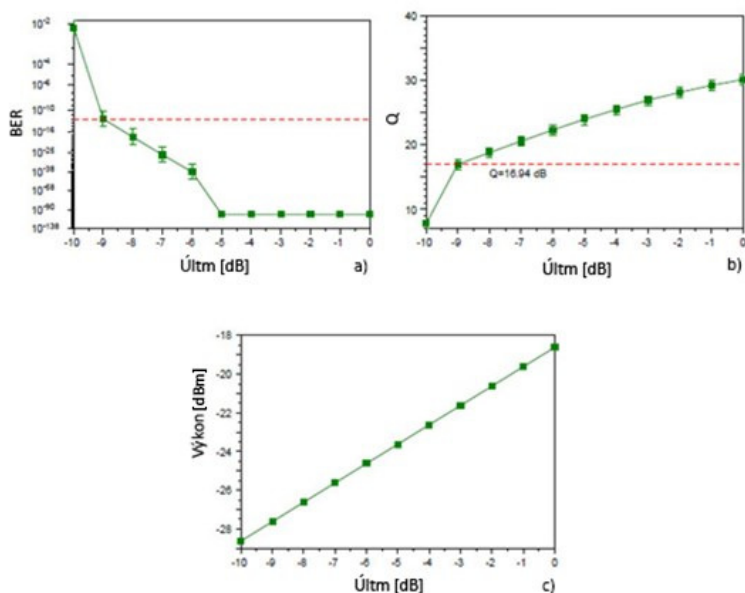
Obr. 1 Základný model FSO linky s modelom slabo turbulentnej atmosféry.

Obr. 1 ilustruje jednoduchú FSO linku zloženú z vysielача, ktorý sa skladá z PRBS (Pseudorandom Binary Sequence) generátora s bitovou rýchlosťou 1,25 Gb/s, NRZ (Non Return

to Zero) ovládačom a priamou modulovanou LED na 1550nm. Optický výkon vysielača je 1,3 dBm. FSO linka má dosah len 500 metrov s divergenciou lúča 3 mrad. Útlm je určený strednou hodnotou -4,92 dB a štandardná odchýlka s hodnotou 1,9. Prijímač je PIN/TIA (s Bessel-Thompson elektrickým filtrom s pásmom 1 GHz), nasledovaný BER (Bit Error Rate) testerom. K dispozícii sú aj Optical Meter, Spectrum, Eye Diagram a Optical Waveform Analyzers. Zo štúdií výkonu FSO linky je možné aplikovať dve simulačné techniky:

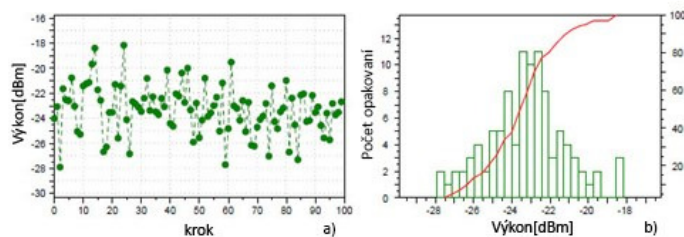
1. Skenovanie parametra v celom rozsahu hodnôt aditívneho útlmu.
2. Štatistická metóda Monte-Carlo, kde pre každú iteráciu nadobúda aditívny útlm inú hodnotu, podľa štatistického rozloženia (v tomto prípade Gaussovho).

Ako prvá je použitá metóda skenovania parametra. Výsledky testu sú znázornené na Obr. 2 a ukazujú BER a Q-faktor vo vzťahu k aditívnym útlmom. Je vidieť, že čím vyšší je útlm, tým je výkon horší. Za predpokladu, že požiadavka na BER sa rovná alebo je nižšia než  $10^{-12}$ , môžeme vidieť, že aditívny útlm by mal byť nižší ako -9 dB. Celkové straty v FSO kanáli sú súčtom geometrických a aditívnych útlmov. Geometrické straty sú za daných parametrov -20 dB (presne -19,92 dB). Z tohto dôvodu môže táto linka tolerovať straty až do -29 dB. Prahovej hodnote (-9 dB) zodpovedá prijatý výkon -27,6 dBm. Zmena vstupného výkonu prijímača spôsobuje zmenu BER.



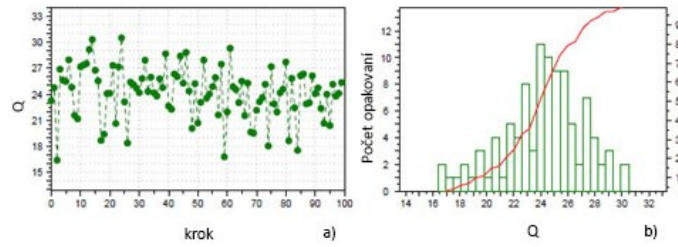
Obr. 2 a) Závislosť parametra BER od atmosférického útlmu, b) Závislosť parametra Q od atmosférického útlmu, c) Závislosť prijatého výkonu od atmosférického útlmu.

Po druhé sa aplikuje štatistický prístup, ktorý bude reprezentovať oslabenie signálu v FSO systémoch. V dôsledku simulácií Monte-Carlo sa pre 100 testov vytvorí viacero výstupných súborov. Vypočítané hodnoty parametra BER, Q, prijatého výkonu a pod. sú pre každý test uložené v dátových súboroch. Pre vytvorenie štatistických grafov sme využili niektoré pokročilé funkcie systému ako WinPlot nástroj. Výsledky sú zobrazené na Obr. 3, Obr. 4 a Obr. 5.

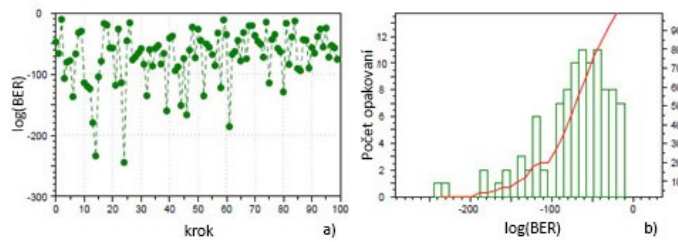


Obr. 3 a) Hodnoty prijatého optického výkonu v každom kroku, b) Histogram pre prijatý optický výkon.





Obr. 4 a) Hodnoty parametra Q v každom kroku, b) Histogram pre parameter Q.



Obr. 5 a) Hodnoty parametra BER v každom kroku, b) Histogram pre parameter BER.

Obr. 3 zobrazuje vzťah medzi vstupným výkonom prijímača a BER (Q-faktor) pre 100 testov. Obr. 4 zobrazuje šírenie vstupného prijatého signálu a zodpovedajúci histogram. Obr. 5 znázorňuje zodpovedajúce štatistické vlastnosti Q-faktora a BER.

Na základe analýzy štatistických dát simulácie je možné odhadnúť, že hodnota aditívneho útlmu je nižšia ako prah -9 dB. Za predpokladu normálneho rozdelenia je možné odvodiť vzťah

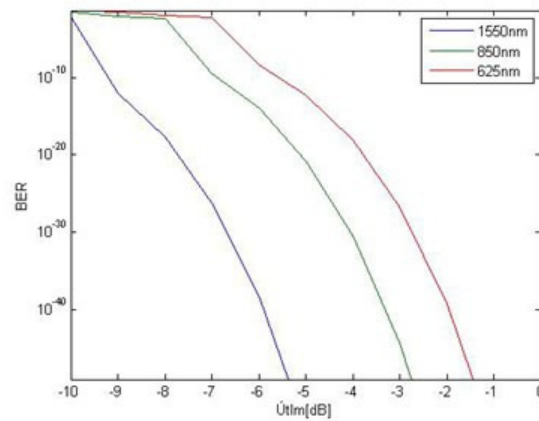
$$1 - D(x) = \frac{1}{2} \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x - \mu}{\sqrt{2}\sigma} \right) \right] \quad (1)$$

Dosadením  $x = -9$  dB,  $\mu = -4,92$  dB a  $\sigma = 1,9$  dB, je možné vypočítať dostupnosť linky, t.j. 98,4 %. Pre pokročilejšie ošetrenie činiteľov atmosférických útlmov môžu byť modely vytvorené za pomoci programovacích jazykov MATLABU alebo C++ a použité v OptSim. Tiež môžu importovať špeciálne softvérové balíčky, ako sú napr. LOWTRAN, MODTRAN z Ontari alebo WaveTrain z MZA.

### III. SIMULÁCIA FSO LINIEK

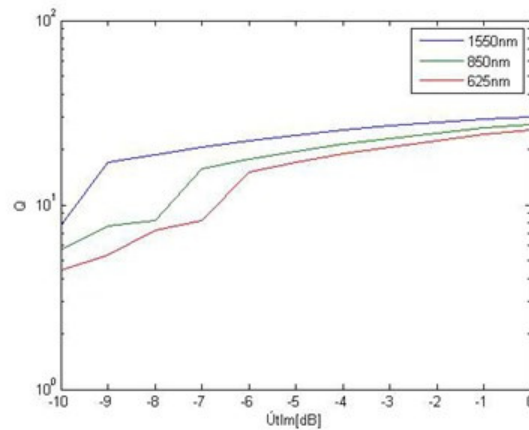
Pri simuláciách boli použité parametre hlavíc SONAbeam<sup>TM</sup> 155-E ( $\lambda = 1550$  nm), LightPointe Flight Strata 155E ( $\lambda = 850$  nm) a RONJA ( $\lambda = 625$  nm).

Zo získaných výsledkov simulácií je možné porovnať systémy medzi sebou, hlavne ich správanie pri zmene útlmu atmosféry a zmene vzdialenosti medzi FSO linkou.



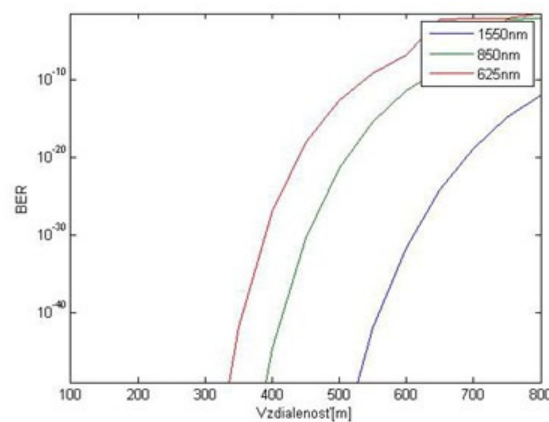
Obr. 6 Závislosti parametra BER od atmosférického útlmu pri rôznych vlnových dĺžkach.

Z Obr. 6 a Obr. 7 je možné usúdiť, že FSO linky pri pracovnej vlnovej dĺžke 1550 nm najlepšie odolávajú atmosférickému útlmu na rozdiel od liniek, ktoré pracujú pri vlnovej dĺžke 625 nm.

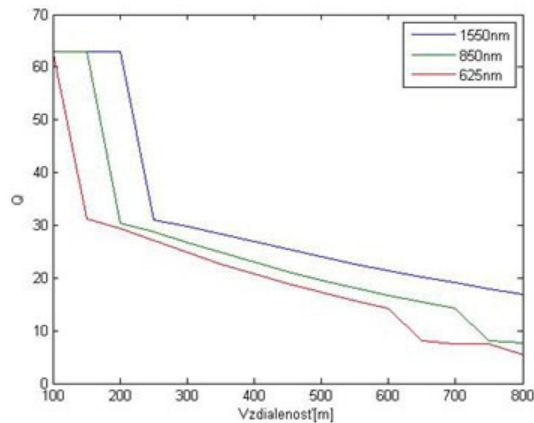


Obr. 7 Závislosť parametra Q od atmosférického útlmu pri rôznych vlnových dĺžkach.

Na Obr. 8 a Obr. 9 je možné vidieť, že FSO linky pri pracovnej vlnovej dĺžke 1550 nm dokážu pracovať na väčšie vzdialenosti než FSO linky s pracovnou vlnovou dĺžkou 625 nm. Hlavným rozdielom je to, že FSO systémy s pracovnou vlnovou dĺžkou 1550 nm využívajú lasery, na rozdiel od v FSO systémoch pracujúcich s vlnovou dĺžkou 625 nm, ktoré využívajú na prenos dát LED diódy.



Obr. 8 Závislosť parametra BER od vzdialenosti medzi FSO linkou pri rôznych vlnových dĺžkach.



Obr. 9 Závislosť parametra Q od vzdialenosti medzi FSO linkou pri rôznych vlnových dĺžkach.

#### IV. ZÁVER

Pri analýze FSO systémov boli simulované 4 rôzne scenáre pre každú pracovnú vlnovú dĺžku. Výsledkom každej simulácie je grafická reprezentácia v podobe grafov závislosti parametra BER a parametra Q faktora od rôznych parametrov FSO linky. Prvý scenár je zameraný na zmenu aditívneho útlmu pri prenose dát FSO linkou. Hodnoty aditívneho útlmu sú menené v rozsahu od -10 dB až po 0 dB. Zo simulácií bolo zistené, že s narastajúcim atmosférickým útlmom sa znižovala kvalita prenosu po linke. Druhý scenár bol zameraný na správanie sa FSO systému pri zväčšujúcej sa vzdialenosti medzi vysielačou a prijímacou hlavicou. Vzdialenosť medzi FSO linkou sa zväčšovala od 100 m až po 1000 m. Z analýzy vyplýva, že zväčšujúca sa vzdialenosť medzi hlavicami má negatívny vplyv na kvalitu prenosu. Tretí scenár analyzoval zmenu bitovej rýchlosti FSO systémov. Z daných výsledkov analýzy je možné sledovať nárast bitovej rýchlosti od FSO systémov využívajúcich vlnové dĺžky 625 nm a 850 nm, ktoré umožňovali prenos do 155 Mbit/s. V FSO systémoch využívajúcich vlnovú dĺžku 1550 nm sa bitová rýchlosť zvýšila až na hodnotu niekoľkých desiatok Gbit/s. Posledný štvrtý scenár simulácií analyzoval vplyv optického výkonu vysielača na kvalitu prenosu. Pri týchto simuláciách boli použité parametre skutočných hlavic. Zo simulácií bolo zistené, že ak sú hodnoty optického výkonu vysielača v požadovanom rozsahu, nemá to skoro žiaden dopad na kvalitu prenosu. Na konci kapitoly boli porovnané výsledné hodnoty niektorých simulácií pri rôznych pracovných vlnových dĺžkach. Z výsledkov vyplýva, že systémy pracujúce s vlnovou dĺžkou 1550 nm sú najvhodnejšie čo sa týka prenosu dát, odolnosti a kvality linky.

#### POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou (KEGA) Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky na základe projektu č. 023TUKE-4/2017. Táto práca je tiež výsledkom zmluvy č. VEGA 1/0772/17 - Lokalizácia osôb na základe detekcie ich vitálnych funkcií UWB senzormi krátkeho dosahu.

#### LITERATÚRA

- [1] A. Kaur and M. L. Singh, "Comparing the Effect of Fog and Snow Induced Attenuation on Free Space Optics (FSO) and RF Links", International Journal of Computer Science and Technology, vol.3, 2012, pp. 554-556.
- [2] B. Epple, "Simplified Channel Model for Simulation of Free-Space Optical Communications", International Journal of Engineering Science and Technology, vol. 2, 2011.
- [3] P. Ivaniga, T. Ivaniga, "10 Gbps optical line using EDFA for long distance lines", Przeglad Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, vol. 93, no. 3, 2017, pp.193-196.
- [4] M. Ijaz, Z. Ghassemlooy, J. Perez, V. Brazda and O. Fiser, "Enhancing the Atmospheric Visibility and Fog Attenuation Using a Controlled FSO Channel", IEEE Photonics Technology Letters, vol. 25, no. 13, pp. 1262-1265, 2013.
- [5] B. He and R. Schober, "Bit-interleaved coded modulation for hybrid RF/FSO systems." IEEE Transactions on Communications, vol. 57, no. 12, pp.3753-3763, 2009.
- [6] T. Ivaniga, P. Ivaniga, "Comparison of the Optical Amplifiers EDFA and SOA Based on the BER and Q-Factor in C-Band" Advances in Optical Technologies, Article ID 9053582, 2017, pp.1-9.
- [7] M. Esmail, H. Fathallah and M. Alouini, "Outdoor FSO Communications Under Fog: Attenuation Modeling and Performance Evaluation", IEEE Photonics Journal, vol. 8, no. 4, pp. 1-22, 2016.

# Konvergencia optimalizačného algoritmu inšpirovaného pohybom baktérií

<sup>1</sup>Jozef BIROŠ, <sup>2</sup>Marián MACH

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>jozef.biros.2@student.tuke.sk, <sup>2</sup>marian.mach@tuke.sk

**Abstrakt** — Cieľom článku je problematika riešenia úloh numerickej optimalizácie pomocou algoritmov, ktoré si svoju inšpiráciu hľadajú v prírodných procesoch. Pozornosť je zameraná na inšpiráciu pohybom baktérie *E.coli* pri hľadaní živín v prostredí. Článok sa zaoberá algoritmom BFO, ktorý tento pohyb modeluje jednoduchým spôsobom, a najmä jeho konvergenciou. Kľúčovým faktorom je dĺžka kroku pohybu baktérie, ktorá rozhoduje o rovnováhe medzi schopnosťou jemne preskúmať okolie hľadaného extrému a schopnosťou uniknúť z oblasti lokálnych extrémov. V rámci experimentovania s dĺžkou kroku bolo realizovaných niekoľko experimentov s pevnou aj adaptívne sa meniacou dĺžkou, ktorých výsledky potvrdzujú úspešnosť adaptívneho prístupu z pohľadu konvergencie algoritmu.

**Kľúčové slová** — BFO, konvergencia, numerickej optimalizácia, prírodne inšpirovaný algoritmus

## I. ÚVOD

Pre riešenie úloh numerickej optimalizácie je k dispozícii množstvo metód rôzneho typu. Jednu významnú triedu týchto metód reprezentujú prístupy, ktoré našli svoj zdroj inšpirácie vo výtvoroch prírodných procesov. Medzi najznámejšie zdroje inšpirácie patria evolučné procesy, organizácia mravčích spoločností, pohyb krdľov vtákov alebo rojov rýb, či komunikácia v rámci spoločenstva včiel. K týmto prístupom je možné zaradiť aj pokusy založené na inšpirácii kolóniami baktérií. Najznámejším reprezentantom založeným na tomto princípe je algoritmus BFO (Bacterial Foraging Optimization) [1], reprezentujúci jednoduchý model, napodobňujúci správanie sa baktérie *E.coli*.

Článok je organizovaný nasledovne. Po stručnom popise pohybu baktérie nasleduje predstavenie jednoduchého modelu tohto pohybu, ktorý je súčasťou chemotaxickej fázy algoritmu BFO. Následne je prezentovaný popis a výsledky experimentov s konvergenciou algoritmu v závislosti od dĺžky kroku pohybu baktérie, pričom sa prechádza od pevne nastavenej dĺžky k možnosti jej adaptívneho nastavovania počas behu algoritmu.

## II. ALGORITMUS BFO

### A. Stratégia pohybu baktérie *E.coli*

Každý organizmus používa nejakú stratégiu pre vyhľadávanie potravy. *E.coli* aktívne vyhľadáva živiny obsiahnuté v prostredí, pričom sa v tomto prostredí pohybuje. Pomocou rotácie bičkov je schopná vykonávať dva základné typy pohybu:

1. rotačný pohyb,
2. priamočiary pohyb.

Pri rotačnom pohybe dochádza k zmene orientácie baktérie, zatiaľ čo pri priamočiarom pohybe v smere aktuálnej orientácie dochádza k zmene polohy baktérie. Tieto dva pohyby sa pravidelne striedajú, pričom pomer ich trvaní závisí od prostredia.

Základný spôsob alternácie typov pohybu sa vyskytuje v neutrálnom prostredí bez výskytu živín ako aj škodlivých látok. Baktéria sa pohybuje náhodnými smermi na krátke vzdialenosti, čo jej umožní hľadať prostredie so živinami. V prostredí s výskytom živín avšak bez gradientu nárastu ich koncentrácie sa pohybuje rovnakým spôsobom s tým, že dĺžka priamočiarých úsekov sa predlžuje. V prostredí s výskytom gradientu koncentrácie živín sa dĺžka priamych úsekov mení podľa smeru pohybu – pri pohybe v smere nárastu koncentrácie živín sa pohyb

predlžuje, v opačnom smere sa naopak pohyb skrakuje (neklesá pod dĺžku v neutrálnom prostredí). Takýmto spôsobom baktéria má tendenciu sa presunúť do oblasti s najväčšou koncentráciou živín.

### B. BFO a model pohybu baktérie

BFO je populačným algoritmom numerickej optimalizácie, ktorý v sebe kombinuje tri navzájom rôzne fázy: chemotaxiu, reprodukciu a elimináciu-disperziu [2]. Modelom pohybu baktérie je chemotaxická fáza algoritmu. V rámci tejto fázy každá baktéria aktuálnej populácie v každej generácii vykonáva pohyb v priestore prehládavania, kde poloha baktérie zodpovedá kombinácii hodnôt nezávisle premenných a koncentrácia živín zase hodnote optimalizovanej funkcie pre dané hodnoty premenných.

Ak  $\theta(i,t)$  bude reprezentovať polohu  $i$ -tej baktérie v generácii  $t$ , potom táto baktéria sa posunie náhodným smerom (rotačný pohyb) o určitú vzdialenosť (priamočiary pohyb) a teda jej nová poloha  $\theta(i,t+1)$  bude

$$\theta(i, t + 1) = \theta(i, t) + m(i, t)C\Delta(i, t) \quad (1)$$

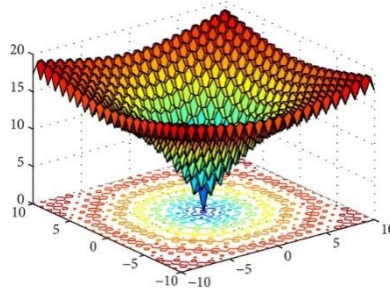
kde  $\Delta(i,t)$  je náhodne generovaný smerový vektor jednotkovej dĺžky pre  $i$ -tu baktériu v  $t$ -tej generácii,  $C$  je dĺžka kroku a  $m(i,t)$  je počet krokov prejdenných  $i$ -tou baktériou v  $t$ -tej generácii. Hodnota  $m(i,t)$  závisí od hodnoty optimalizovanej funkcie – vždy sa vykoná aspoň jeden krok, maximálne však  $lim$  krokov a kroky sa vykonávajú dovtedy, pokiaľ sa hodnota optimalizovanej funkcie zlepšuje. Ak teda daný smer vedie k horším hodnotám funkcie, vykoná sa iba jeden krok (krátka verzia pohybu), ak vedie stále na lepšie a lepšie hodnoty, tak sa vykoná  $lim$  krokov (baktéria nedokáže príliš dlho držať svoj smer kvôli Brownovmu pohybu), a ak vedie najprv na lepšie hodnoty a potom na horšie hodnoty, tak sa vykoná niekoľko krokov až pokiaľ nedôjde k zhoršeniu (dlhá verzia pohybu).

## III. VYBRANÉ EXPERIMENTY S KONVERGENCIU BFO

Pre experimentovanie s algoritmom bola použitá Ackleyho funkcia [3], ktorá je často využívanou funkciou pre testovanie optimalizačných algoritmov. Funkcia je definovaná vzťahom

$$f(x) = -a \exp\left(-b \sqrt{\frac{1}{d} \sum_{i=1}^d x_i^2}\right) - \exp\left(\frac{1}{d} \sum_{i=1}^d \cos(cx_i)\right) + a + \exp(1) \quad (2)$$

kde pre jednotlivé konštanty boli použité typické hodnoty  $a=20$ ,  $b=0.2$  a  $c=2\pi$ . Jej dvojrozmerná podoba ( $d=2$ ) je zobrazená na Obr. 1.



Obr. 1 Ackleyho funkcia dvoch premenných.

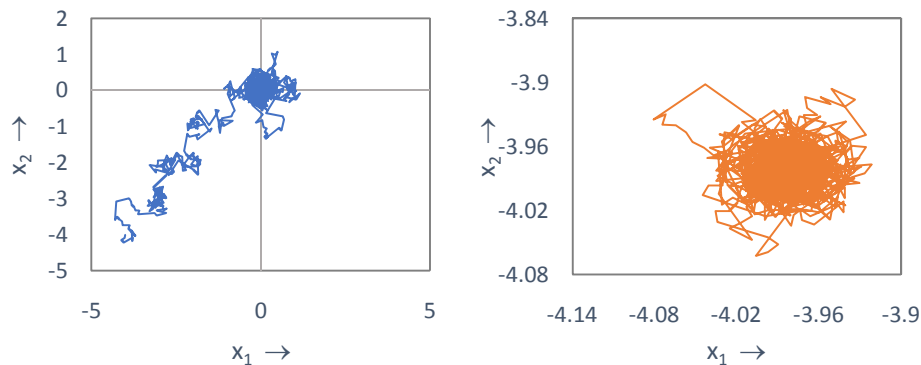
Globálny extrém funkcie je umiestnený v počiatku. Ďalej od počiatku je funkcia charakterizovaná málo sa zvažujúcim tvarom, čo je kompenzované strmým poklesom v okolí počiatku. Superponovaná periodická zložka vytvára veľké množstvo lokálnych extrémov, ktoré sťažujú prehládavanie. Voľbou  $d>2$  je možné získať viacrozmernú podobu funkcie, ktorá je obtiažnejšie optimalizovateľná.

### A. Konštantná dĺžka kroku

Z rovnice (1) je zrejme, že hodnota  $C$  je dôležitým parametrom, ktorý ovplyvňuje pohyb baktérie v priestore. Obr. 2 ilustruje toto pre dve rôzne hodnoty parametra  $C$ , pričom v oboch prípadoch bola použitá rovnaká počiatková pozícia baktérie  $[-4,-4]$ .

V prípade na obrázku vľavo bola použitá hodnota  $C=0.1$ . Z trajektórie je vidno, že baktéria na svojej ceste bola síce zachytená v lokálnych minimách, avšak dokázala sa z nich vymaniť

a postupne prísť až do blízkosti globálneho extrémumu. Avšak nedokázala sa dostať do tesnej blízkosti globálneho extrémumu, bola schopná iba krúžiť okolo neho. Prípado vpravo na obrázku zase ilustruje použitie hodnoty  $C=0.01$ . V tomto prípade baktéria bola schopná jemnejšie preskúmať oblasť nájdeného extrémumu avšak nedokázala sa z neho vymaniť a uviazla v ňom.



Obr. 2 Správanie baktérie pri rôznej dĺžke kroku  $C=0.1$  (vľavo) a  $C=0.01$  (vpravo).

Obr. 2 teda jasne ilustruje nevýhody pevnej veľkosti kroku – krátky krok spôsobuje uviaznutie v lokálnom extrémume, dlhý krok zase neschopnosť jemne prehľadávať okolie globálneho extrémumu a bližšej konvergencie k nemu.

### B. Premennivá dĺžka kroku

Je zrejme, že ideálnym prípadom by bolo mať možnosť meniť dĺžku kroku – používať dlhší krok pre unikanie z lokálnych extrémumov a kratší krok pre jemnejšie preskúmavanie sľubných oblastí. Toto je možné dosiahnuť niekoľkými stratégiami:

1. Dynamicky sa meniaci hodnota závisiaci na čase (generácii). Hľadanie začína s dlhším krokom, ktorý sa postupne skraca na dĺžku, vhodnú pre jemné skúmanie oblastí.
2. Adaptívne sa meniaci hodnota umožňujúca počas hľadania dĺžku kroku predlžovať aj skracať podľa potreby. Hodnota globálne platná pre všetky baktérie.
3. Adaptívne sa meniaci hodnota, pričom každej baktérii by prináležala jedna takáto hodnota, teda rôzne baktérie by používali rôzne dĺžky krokov.

V prvom prípade sa implicitne predpokladá, že baktéria na konci hľadania sa už nachádza v oblasti výskytu globálneho extrémumu (inak by dochádzalo k jemnému skúmaniu oblasti lokálneho extrémumu). V treťom prípade zase stúpa zložitnosť algoritmu, keď je potrebné udržiavať a adaptovať viaceré hodnoty. Preto bol zvolený prístup reprezentujúci kompromis – umožnenie nielen znižovanie ale aj zvyšovanie kroku pri jednoduchšej implementácii, teda adaptácia jednej globálnej dĺžky kroku.

Bol použitý adaptívny prístup podľa ABFO<sub>0</sub> [4]. Pri tomto prístupe k adaptácii dochádzalo iba každú  $n$ -tú generáciu. Medzi týmito generáciami sa používala tá istá hodnota dĺžky kroku. Podmienkou spustenia adaptácie bolo

$$f(\theta(best, t)) < \varepsilon(t) \quad (3)$$

kde  $best$  reprezentuje index aktuálne najlepšej baktérie populácie a  $\varepsilon(t)$  je prahom platným pre  $t$ -tú generáciu. Ak teda populácia baktérii (t.j. najlepšia baktéria v populácii) našla takú polohu, pre ktorú je hodnota funkcie menšia ako zadaný prah, potom je čas pristúpiť k jemnejšiemu prehľadávaniu a skrátiť dĺžku kroku:

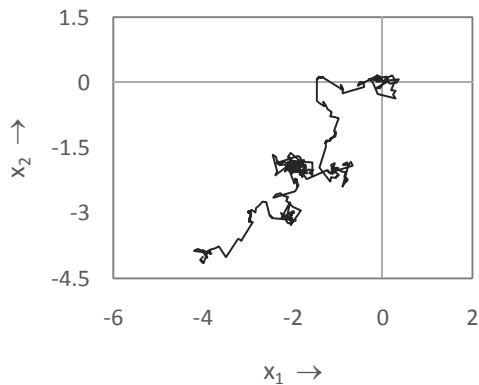
$$C(t + 1) = C(t - n)/\alpha \quad (4)$$

pre  $\alpha > 1.0$ . Ak však nerovnosť (3) neplatí, potom zrejme nemá zmysel také jemné prehľadávanie ako je aktuálne nastavené a je vhodné zvýšiť dĺžku kroku, napríklad pomocou návratu k predchádzajúcej dĺžke:

$$C(t + 1) = C(t - n) \quad (5)$$

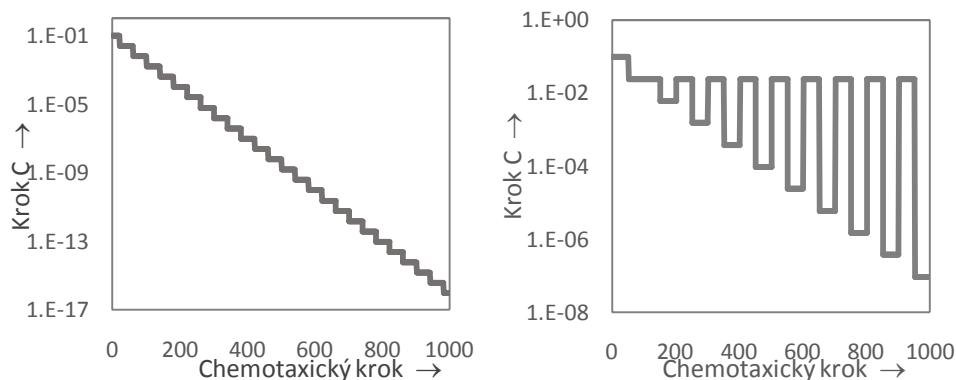
V prípade objavenia sľubnej oblasti je možné adaptovať aj hodnotu  $\varepsilon(t)$  spôsobom podobným vzťahom (4) a (5) s použitím  $\beta > 1.0$  v úlohe analogickej  $\alpha$ .

Ukážka trajektórie jednej baktérie je zobrazená na obr. 3. Je zrejme, že teraz baktéria si zachováva schopnosť uniknúť z oblastí lokálnych extrémumov a postupovať smerom k oblasti výskytu globálneho extrémumu, pričom je schopná túto oblasť jemne preskúmať a priblížiť sa k danému globálnemu extrémumu bez toho, aby daná oblasť bola preskúmaná zbytočne do širokého okolia ako na obr. 2 vľavo.



Obr. 3 Správanie baktérie pri adaptácii dĺžky kroku.

Samotná adaptácia dĺžky kroku počas jednotlivých krokov chemotaxickej časti algoritmu BFO môže nadobúdať rozličné priebehy. Dva z možných typických priebehov sú ilustrované na obr. 4.



Obr. 4 Ukážky adaptácie dĺžky kroku.

Obrázok vľavo ilustruje prípad neustáleho približovania sa k hľadanému extrému, ktorý je typickým pre unimodálne funkcie. Pohyb baktérie privádza túto baktériu stále bližšie k hľadanému extrému, a baktéria teda stále nachádza lepšie a lepšie hodnoty optimalizovanej funkcie. Následkom toho dochádza k opakovanému spĺňaniu podmienky (3) a hodnota dĺžky kroku neustále klesá.

Na druhej strane obrázok vpravo predstavuje periodické zmeny pri výskytu lokálnych extrémov. Baktéria po tom, čo sa dostane do oblasti lokálneho extrému, nachádza priaznivejšie hodnoty funkcie a preto je prirodzené, že dĺžka kroku sa skracuje. Po tom, čo prehľadá danú oblasť, už nenachádza lepšie riešenia a dĺžka kroku sa vracia na hodnotu z predchádzajúceho obdobia. To umožní baktérii uniknúť z daného lokálneho extrému a prejsť do blízkosti iného sľubnejšieho extrému – a teda opäť dochádza k skráteniu kroku.

### C. Presnosť dosiahnutia extrému

Schopnosť konvergovať ku globálnemu extrému je možné merať schopnosťou populácie baktérií (t.j. aspoň jednej baktérie z populácie) dostať sa do dostatočnej blízkosti hľadaného extrému. Keďže pre použitú testovaciu funkciu je poloha hľadaného extrému známa, stačí sledovať Euklidovu vzdialenosť medzi polohou globálneho extrému a polohami jednotlivých baktérií.

Keďže algoritmus má stochastický charakter, pre každý prípad sa vykonalo 50 pokusov a výsledky boli spracované pomocou dvoch mier:

1. SR (Success Rate) – pomer počtu úspešných pokusov (populácia sa dostala do požadovanej blízkosti) ku všetkým pokusom vyjadrený v %,
2. AG (Average Generation) – priemerná generácia, v ktorej sa populácia prvýkrát dostala do požadovanej blízkosti extrému (určované iba z úspešných pokusov).

Tabuľka 1  
 Úspešnosť priblíženia ku globálnemu extrémumu

$\zeta$	Kritérium	Pevný krok	Adaptívny krok
$10^{-2}$	SR	70 %	74 %
	AG	13 875	5 663
$10^{-3}$	SR	0 %	68 %
	AG	-	5 961
$10^{-4}$	SR	0 %	38 %
	AG	-	9 711

SR = success rate, AG = average generation.

Dosiahnuté výsledky pre trojrozmernú podobu Ackleyho funkcie sú uvedené v Tab. 1. Keďže pri pevnej dĺžke kroku bola použitá hodnota  $C=0.1$ , tak populácia sa v prípade menšej požadovanej vzdialenosti  $\zeta=0.01$  nie vždy dostala bližšie než bola táto požadovaná vzdialenosť  $\zeta$  (pre  $\zeta=0.1$  algoritmus dosahoval sto percentnú úspešnosť). V situácii, keď sa požadovaná vzdialenosť  $\zeta$  od iniciálnej hodnoty kroku  $C$  líšila o niekoľko rádov, algoritmus nebol schopný konvergencie a zlyhával.

V prípade adaptívneho kroku bola použitá rovnaká iniciálna dĺžka kroku  $C(0)=0.1$  a pre jej adaptáciu hodnoty  $\alpha=4$  a  $\beta=4$  pri iniciálnej hodnote prahu  $\varepsilon(0)=100$ . Je zrejmé, že čím bola požadovaná vzdialenosť  $\zeta$  menšia, tým bola úloha pre algoritmus zložitejšia – avšak napriek tomu nedošlo k úplnému zlyhaniu, iba sa znížila úspešnosť algoritmu a zvýšil potrebný počet generácií.

#### IV. ZÁVER

Na základe vykonaných experimentov je možné konštatovať, že nahradením pevnej dĺžky kroku adaptívnou hodnotou, reagujúcou na aktuálny stav prehľadávania priestoru, je možné značne zlepšiť konvergenčné vlastnosti algoritmu BFO. Dosiahnuté výsledky potvrdili predpoklady, formulované na základe znalosti o spôsobe práce algoritmu a pohybe jednotlivých baktérií v priestore. Uvedené by bolo možné ďalej rozvíjať experimentovaním s rôznymi podobami adaptívnych prístupov za účelom hľadania vhodného kompromisu medzi výkonnosťou algoritmu a jeho zložitou a s tým zviazanou časovou náročnosťou. Toto považujeme za vhodný smer ďalšieho výskumu.

#### POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt “Centrum informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy” (kód ITMS: 26220120020), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

#### LITERATÚRA

- [1] K.M. Passino: Biomimicry of Bacterial Foraging for Distributed Optimization and Control, *IEEE Control Systems Magazine*, roč. 22, 2002, č. 3, 52–67.
- [2] Y. Liu and K.M.Passino: Biomimicry of Social Foraging Bacteria for Distributed optimization: Models, Principles, and Emergent Behaviors, *Journal of Optimization Theory and Applications*, roč. 115, 2002, č. 3, 603-628.
- [3] T. Back: *Evolutionary Algorithms in Theory and Practice*, Oxford University Press, 1996, 142-143.
- [4] H. Chen, Y. Zhu and K. Hu: Adaptive Bacterial Foraging Optimization, *Abstract and Applied Analysis*, Hindawi Publishing Corp., 2011, article ID 108269, 27 strán.
- [5] J. Biroš: Použitie baktériami inšpirovaných metód pre riešenie úloh numerickej optimalizácie, Bakalárska práca, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, 2017, 68 strán.



# Experimenty s fyzikálnym modelom FTTx optických prenosových sietí

<sup>1</sup>Ján TURÁN, <sup>2</sup>Luboš OVSEŇÍK, <sup>3</sup>Tomáš IVANIGA, <sup>4</sup>Luboš KUCHAR

<sup>1,2,3,4</sup>Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>jan.turan@tuke.sk, <sup>2</sup>lubos.ovsenik@tuke.sk, <sup>3</sup>tomas.ivaniga@tuke.sk,  
<sup>4</sup>lubos.kuchar.2@student.tuke.sk

**Abstrakt** —V súčasnosti sa tak zvýšila hustota nasadenia optických sietí, že potreba riešenia problému ako prekonať poslednú míľu je nevyhnutnou súčasťou návrhu optickej siete ako takej. Vytvorenie chrbticovej siete je jednoduchšou úlohou ako vytvorenie správnej prístupovej siete pre pripojenie používateľov. Ak by sme mali vlákno privádzať priamo ku koncovému používateľovi cena realizácie by značne prekročila rentabilitu celej siete. S prihliadnutím na počet koncových bodov (OLT – Optical Line Terminal) sa volí prístup kde sa optická linka privedie len do určitej vzdialenosti od koncového používateľa a ďalší prenos sa realizuje inými technológiami, buď s použitím starších metalických liniek alebo inou, napríklad bezdrôtovou technológiou. Cieľom tohto článku je popis optických prístupových sietí FTTx, teoretickou problematikou ich vytvorenia a nasadenia, taktiež simuláciou a zároveň experimentálnym meraním FTTx sietí.

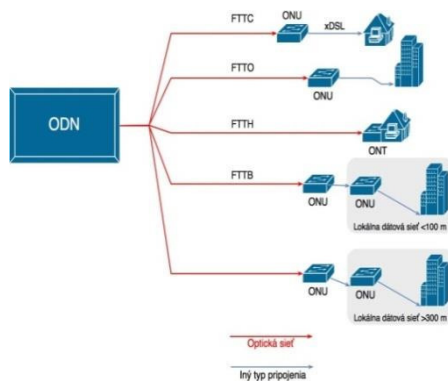
**Kľúčové slová** —FTTx, OptSim, PON

## I. ÚVOD

Pri zvyšujúcich sa nárokoch používateľov na portfólio ponúkaných služieb, sa stále väčší dôraz kladie na prenosovú kapacitu prenosového média. Staršia infraštruktúra založená na metalických vedeniach (ISDN (Integrated Services Digital Network), ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), ADSL2,...), už nie je schopná pokryť tieto požiadavky koncového používateľa na šírku pásma. Odpoveďou na tento problém je optické vlákno. V tejto práci popíšeme problematiku týchto sietí z pohľadu prístupových sietí [1-3]. Výhodné vlastnosti vlákna spolu so znižujúcou sa cenou optických pripojení mali za následok postupnú implementáciu optických sietí bližšie ku koncovému zákazníkovi. Rozšírenie týchto sietí vytvorilo potrebu pre efektívne využitie meracích prostriedkov a lokalizácie porúch [4,5].

## II. OPTICKÉ SIETE TYPU FTTX

Využitie pasívnych optických sietí na prekonanie tzv. poslednej míle, čiže problém realizácie pripojenie zákazníka ku chrbticovej sieti sa často označuje súhrnným názvom FTTx (Fiber To The x) [6]. V dnešnej dobe sa technológia optických sietí rozvinula natoľko, že vlákna nie sú použité len ako médium pre chrbticovú sieť celosvetovej infraštruktúry, ale často sú privedené až ku koncovému používateľovi [7]. Túto realizáciu dovoľuje veľká kapacita optického vlákna, ktoré aj po rozdelení jeho spektra pre používateľov dostatočne pokrýva ich požiadavky.



Obr.1. Grafické znázornenie rôznych typov FTTx sietí.

Keďže by bolo finančne aj časovo náročné zavedenie optického vlákna ku každému používateľovi zaviedli sa rôzne spôsoby pripojenia používateľa ku optickej sieti [8,9]. V niektorých prípadoch je vlákno privedené len do určitej oblasti a ďalej sa šíri iným spôsobom (metalická linka, bezdrôtovo), alebo je vlákno privedené až do obydľia kde má používateľ vlastnú optickú jednotku. FTTx je všeobecné pomenovanie pre spôsob alebo vzdialenosť v ktorej je optická časť siete ukončená. Na Obr. 1 je znázornenie rôznych typov FTTx sietí.

**FTTH** (Fiber To The Home) – je metóda privedenia optického vlákna do obydľia koncového zákazníka. Ide však o veľmi nákladnú metódu pripojenia a poskytovateľa služieb ju zvyčajne realizujú v hustejšie zastavaných mestských zónach kde je alebo bude predpokladaný dopyt po takejto službe. Príkladom takéhoto pripojenia je Google Fiber poskytovaný spoločnosťou Google. Spoločnosť garantuje pripojenie 1 Gbit/s symetricky [10].

**FTTO** (Fiber To The Office) – metóda dosť podobná predchádzajúcemu typu, vlákno je privedené až do priestorov zákazníka. Rozdiel spočíva práve v rozličných typoch zákazníkov, čo sú prevažne firmy, nemocnice, kancelárske priestory. Povaha zákazníkov udáva aj samotné požiadavky na sieť. Pre túto sieť sa predpokladá symetrické pripojenie s veľkým počtom používateľov so symetrickým využitím siete.

**FTTP** (Fiber To The Premises) – súhrnné označenie pre predchádzajúce dva typy pripojenia.

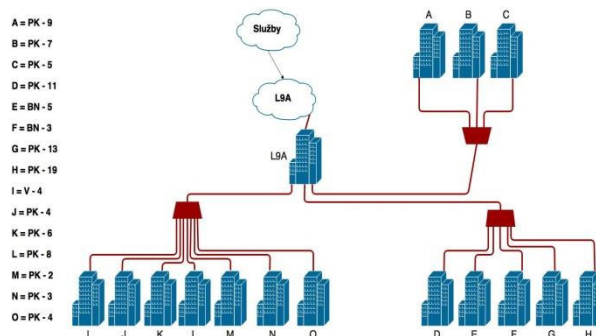
**FTTB** (Fiber To The Building) – v tomto prípade je privedené vlákno priamo do budovy, kde je ukončené buď optickou sieťovou jednotkou (ONU - Optical Network Unit) alebo OLT (Optical Line Termination - ukončenie optickej linky). Keďže väčšina budov má už vytvorenú metalickú infraštruktúru tak sa pre prekonanie poslednej vzdialenosti medzi vláknom a zákazníkom použije táto metalická linka. Táto metóda uspokojí viacero zákazníkov s relatívne malými nákladmi a nevelkým zásahom pri inštalácii siete. ISO/IEC 11801 udáva maximálnu dĺžku metalickej časti siete 100 m.

**FTTC** (Fiber To The Curb) – ako napovedá názov, optické vlákno je privedené ku okraju chodníka, alebo do skrine vonkajšieho rozvádzača [11,12]. Od tohto bodu môže byť pripojenie zákazníka realizované rôznymi metódami, väčšinou pomocou technológie VDSL (Very High Speed Digital Subscriber Line), alebo inou technológiou. Vzdialenosť medzi zakončením vlákna a zákazníkom sa pohybuje v rozmedzí 100 – 300 m.

**FTTN** (Fiber To The Node) – z pohľadu vzdialenosti ukončenia vlákna a zákazníka je ukončenie vlákna v tejto metóde najďalej od zákazníka spomedzi všetkých vyššie uvedených možností. Vlákno je ukončené v uzle a ďalší prenos sa realizuje technológiou DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer). Maximálna vzdialenosť je pre FTTN 1524 m.

### III. SCHEMATICKÝ PLÁN OPTICKEJ SIETE TYPU FTTX

FTTx sieť je vytvorená ako typ siete bod - multibod. Táto sieť má jedno vstupné vlákno, ktoré následne rozdeľuje pomocou pasívneho optického rozdeľovača. Pasívny optický rozbočovač je optická súčiastka, ktorá realizuje rozdelenie optického signálu v pomere 1:X, kde X je počet samostatných zhodných signálov. Tieto signály sú úplnou kópiou pôvodného signálu. Ak jeden signál obsahuje dáta pre všetkých používateľov potom sú tieto dáta doručené všetkým používateľom. ONU jednotka na strane používateľa vyberie dáta určené pre používateľa a ostatné dáta sa zahodia.



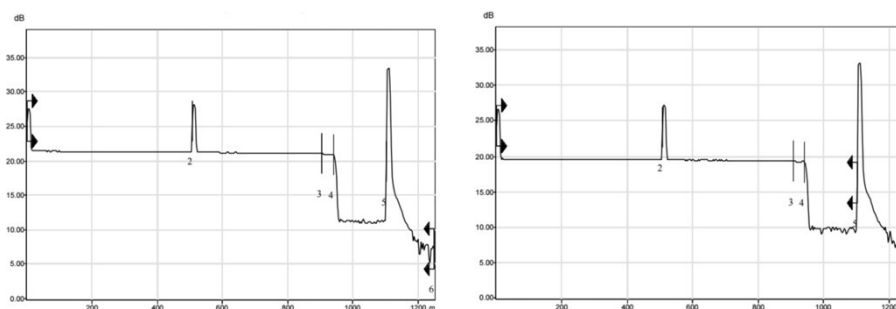
Obr.2. Schéma FTTx siete Fyzikálneho modelu pre TUKÉ.

Využitie optických rozbočovačov výrazne zjednodušuje pripojenie viacerých používateľov. Namiesto privedenia vlákna samostatne ku každému používateľovi je vlákno rozdelené v potrebnej vzdialenosti. Fyzikálny model demonštruje práve túto výhodu. V PON (passive Optical Network) sieti je pre pripojenie každého používateľa použité samostatné vlákno. Na rozdiel od priameho pripojenia FTTx sieť je tvorená z troch pripojovacích vlákien a z troch optických rozbočovačov. Tento prístup je jednoduchší z pohľadu realizácie siete. Nie je potrebné vytvárať nové spojenia pre nových účastníkov stačí pripojenie zákazníka ku

rozbočovaču. Optické rozbočovače majú značnú nevýhodu a tou je útlm, ktorý optický rozbočovač vnáša do trasy a táto hodnota sa mení v závislosti od deliaceho pomeru. Vo fyzikálnom modeli sú použité optické rozbočovače s deliacim pomerom 1:8 a ich útlm je cca. 10 dB. Z tohto poznatku vidíme, že rozbočovač síce umožní pripojenie viacerých používateľov, ale dĺžka medzi rozbočovačom a používateľom nie je tak veľká ako pri pripojení používateľa priamo. Preto sa odporúča privedenie jedného vlákna ku oblasti kde má byť služba podporovaná a pre pripojenie viacerých používateľov použiť optický rozbočovač. Na Obr. 2 je znázornený schematický plán pre vytvorenie siete pre areál TUKE.

#### IV. FYZIKÁLNE MERANIA NA TRASÁCH OPTICKEJ SIETE FTTX

Pre praktickú ukážku bolo zobrazené meranie, ktoré bolo vykonané na FTtx sieti. Pre znázornenie, a taktiež porovnanie bola zvolená trasa „I“ (L9A -> V4). Jedná sa o najdlhšiu trasu fyzikálneho modelu. Táto trasa má dĺžku 400 m a skladá sa z dvoch optických vlákien so zhodnou dĺžkou (vlákno G.652.D). Predpokladaný útlm siete by nemal prekročiť hodnotu 11 dB. Táto hodnota sa rovná súčtu maximálnej hodnoty rozbočovača (10 dB) s maximálnym útlmom vlákna, konektorov a zvarov.



Obr.3. Výsledok OTDR merania trasy „I“ pre 1310 nm (vľavo) a 1550 nm (vpravo).

Na Obr. 3 je znázornený výsledok merania OTDR pre obidve vlnové dĺžky. Na grafe vľavo vidíme priebeh útlmu vlákna pre vlnovú dĺžku 1310 nm. Pre túto trasu merací prístroj nedokázal vyhodnotiť koniec vlákna. Pre účely merania je toto meranie postačujúce, pretože je stále možné z grafu vyhodnotiť potrebné parametre. Na grafe je správne zobrazené predradené vlákno, konektor a následne optický rozbočovač. Tento jav sa nezopakoval na vlnovej dĺžke 1550 nm. Koniec vlákna bol správne vyhodnotený spolu s konektormi a rozbočovačom. V Tab. 1 je zhrnutie výsledkov OTDR merania pre 1310 nm a 1550 nm.

Tab. 1  
 Zhrnutie výsledkov merania pre FTtx sieť „I“

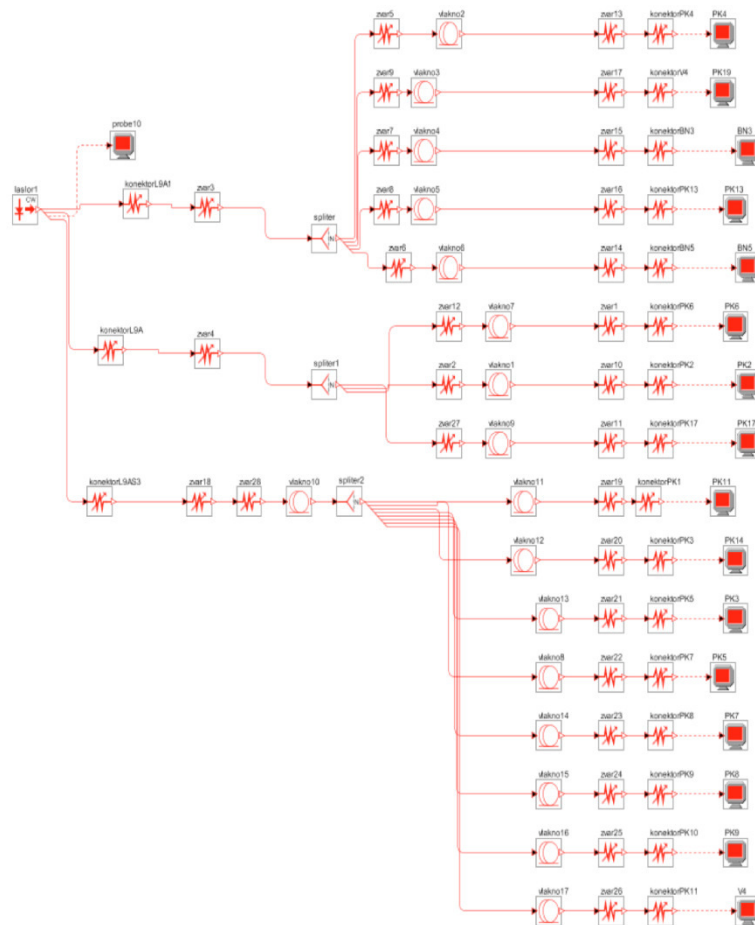
Vlnová dĺžka	1310 nm	1550 nm
Dĺžka trasy [m]	0.4353	0.4353
Útlm predradeného vlákna [dB]	0.5066	0.5065
Útlm rozbočovača [dB]	9.618	9.434
Kumulovaný útlm trasy [dB]	10.152	9.813
Útlm vstupného konektora [dB]	0.008	0.023

Hodnota útlmu rozbočovača (Tab. 1) ukazuje, že vlnová dĺžka signálu priamo ovplyvnila hodnotu útlmu. Zníženie sa prejavilo ako pri útlme celej trasy, tak aj pre jednotlivé prvky trasy. Výsledky merania potvrdzujú predpoklad zvýšenia hodnoty útlmu pri vlnovej dĺžke 1310 nm. Hodnota útlmu je v priemere vyššia v závislosti od súčiastky o 0.3 dB (rozbočovač) alebo o 0.001 v prípade vstupného konektora.

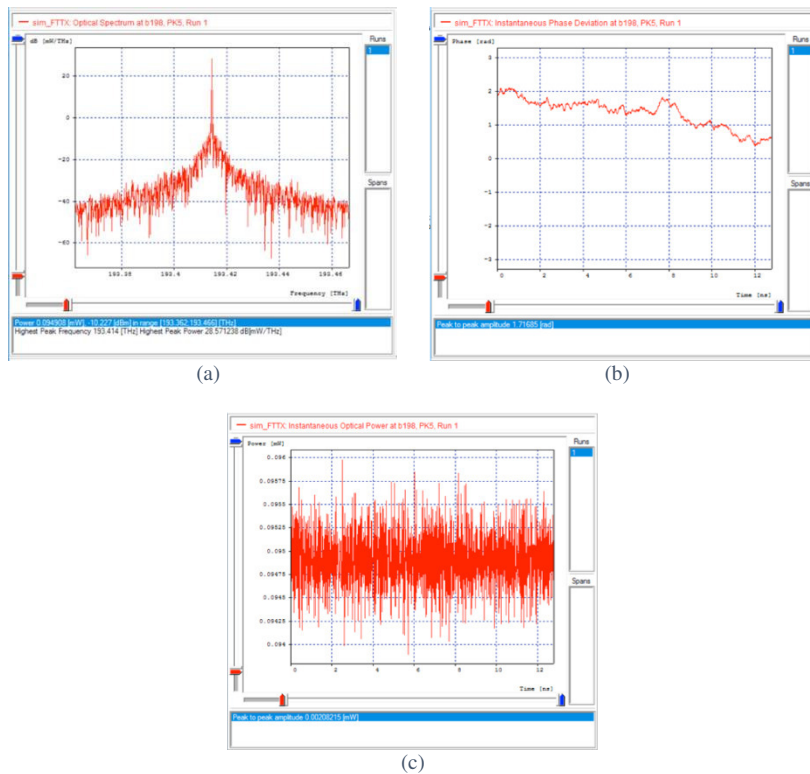
#### V. VYTVORENIE FTTX SIETE V PROGRAME OPTSIM

Pri návrhu tejto siete je nevyhnutné navrhnúť sieť tak, aby bolo možné simulovať pripojenie viacerých používateľov. Na Obr. 4 je znázornená schéma pre simuláciu FTtx siete pre TUKE. Táto schéma obsahuje tri optické rozbočovače s nastaveným útlmom 10 dB. Zo schémy je zrejmé, že poskytuje pripojenie pre 16 koncových bodov a po spustení a vyhodnotení simulácie je možné zobrazit' výsledky optickej sondy samostatne pre každého používateľa. Nastavenie vysielacieho zdroja má hodnotu 1 mW.

Pre znázornenie výsledkov simulácie je znova vybratá optická trasa „I“ a sú pre ňu vyhodnotenú výsledky simulácie na vlnovej dĺžke 1310 nm a 1550 nm. Z výsledkov simulácií budú opísané parametre optického výkonu, okamžitého výkonu a okamžitej fázy signálu.

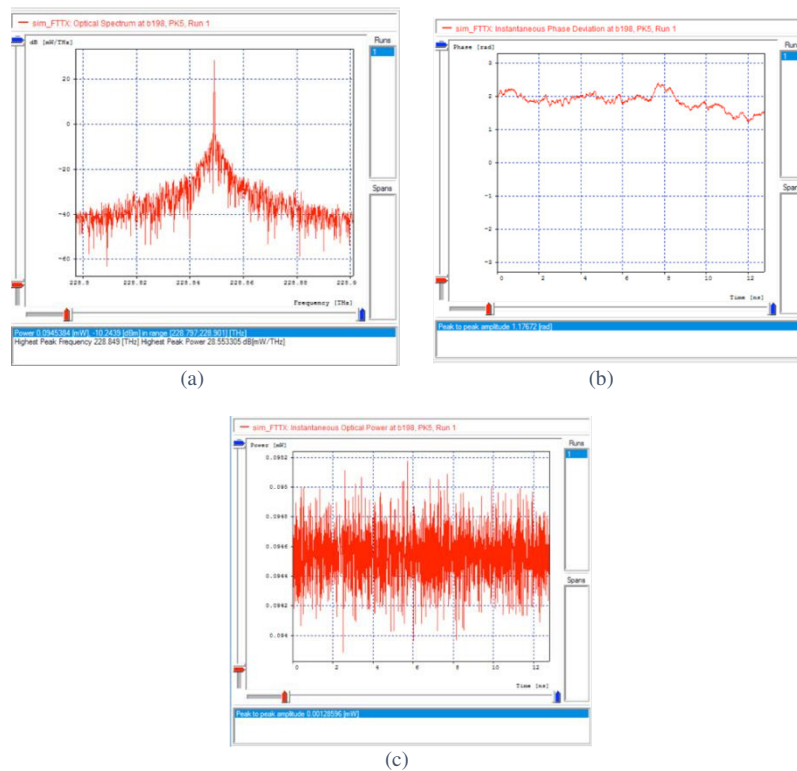


Obr.4 Schéma simulovanej siete FTTx v programe OptSim.



Obr.5 Výsledky simulácie vlnovej dĺžky 1550 nm. Na Obr. 5a) sa nachádza spektrum optického signálu. Obr. 5b) zobrazuje zmenu fázy signálu a Obr. 5c) zobrazuje okamžitý výkon signálu.

Obr. 5 znázorňuje výsledky simulácie trasy pre vlnovú dĺžku 1550 nm. Ako vidno na Obr. 5a) výkon optického signálu dosiahol na výstupe hodnotu 0.094908 mW, táto hodnota zodpovedá hodnote útlmu 10,02697178 dB. Hodnota okamžitej fázy signálu dosiahla hodnotu 1.71685 rad (Obr. 5b)) a hodnota okamžitého výkonu signálu bola pre túto trasu 0.00208215 mW (Obr. 5c)).



Obr.6 Výsledky simulácie vlnovej dĺžky 1310 nm. Na Obr. 6a) sa nachádza spektrum optického signálu. Obr. 6b) zobrazuje zmenu fázy signálu a Obr. 6c) zobrazuje okamžitý výkon signálu.

Obr. 6 znázorňuje výsledky simulácie trasy pre vlnovú dĺžku 1310 nm. Ako vidno na Obr. 6a) výkon optického signálu dosiahol na výstupe hodnotu 0.0945384 mW, táto hodnota zodpovedá hodnote útlmu 10,04391752 dB. Hodnota okamžitej fázy signálu dosiahla hodnotu 1.7672 rad (Obr. 6b)) a hodnota okamžitého výkonu signálu bola pre túto trasu 0.00128596 mW (Obr. 6c)).

Tab. 2  
Zhodnotenie výsledkov simulácií FTTx siete „I“

Vlnová dĺžka	1310 nm	1550 nm
Výkon na konci trasy [mW]	0.0945384	0.094908
Výkon na konci trasy [dB]	10.04391752	10.02697178
Okamžitá zmena fázy [rad]	1.7672	1.71685
Okamžitý výkon signálu [mW]	0.00128596	0.00208215

V Tab. 2 sú porovnania simulácií z pohľadu zmeny vlnovej dĺžky. V porovnaní s priamym typom siete sa tento typ siete prejavil ako typ s vyšším útlmom. Aj keď bol útlm celkovo vyšší na tejto trase je pokles útlmu na vlnovej dĺžke 1550 nm.

## VI. VYHODNOTENIE ZÍSKANÝCH VÝSLEDKOV ZO SIMULAČNÝCH A FYZIKÁLNYCH MERANÍ OPTICKEJ SIETE FTTX

Tab. 3  
Zhodnotenie výsledkov FTTx siete „I“

Vlnová dĺžka	1310 nm		1550 nm	
	Simulácia	OTDR	Simulácia	OTDR
Útlm trasy [dB]	10,22005388	9,620	10,22005388	9,432
Dĺžka vlákna L9A-rozbočovač [m]	0,1659	0,1659	0,1658	0,1658
Dĺžka vlákna V4-rozbočovač [m]	432,82	432,82	430,56	430,56

Tab. 3 zobrazuje porovnanie výsledkov, ktoré boli dosiahnuté pri meraní a simulácii trasy „I“ fyzikálneho modelu. Táto trasa má celkovú dĺžku obsahuje jeden optický rozbočovač a dva optické konektory. Z výsledkov je zrejmé, že optická trasa má pri simulácii na oboch vlnových

dĺžkach vyšší útlm ako je jeho reálna hodnota. Tento rozdiel je približne 2 dB. Konektory použité na tejto trase nemajú na výsledný útlm podstatný vplyv. Opačný prípad nastáva v prípade optického rozbočovača. Rozbočovač, ako samostatný prvok, má vložený útlm na kanál okolo 9 dB. Táto hodnota je v porovnaní s útlmom vlákna omnoho vyššia. Simulácia ďalej ukázala, že hodnota útlmu rozbočovača na kanál je v skutočnosti menšia ako garantuje výrobca.

Z porovnania celkových výsledkov vyplýva, že simulovaná sieť dosiahla vyšší útlm na oboch vlnových dĺžkach. Hodnota útlmu trasy bola prevažne 10.24 dB. Predpokladané zníženie útlmu na vlnovej dĺžke 1550 nm, nie je pozorovateľné a to hlavne z dôvodu vysokej hodnoty útlmu rozbočovača.

## VII. ZÁVER

Simulovaná trasa je vytvorená pre každý koncový bod siete FTTx. Simulácia bola vykonaná na vlnovej dĺžke 1310 nm a 1550 nm. Výsledok simulácie pre trasu „I“ potvrdil predpoklad značného vplyvu útlmu rozbočovača na útlm celej trasy. V porovnaní simulácie a fyzikálneho merania pomocou OTDR metódy sa prejavil opačný efekt, a to nižšie namerané hodnoty tejto trasy ako pri jej simulácii. Dôvodom tohto javu bolo nastavenie veľkosti útlmu rozbočovača pri simulácii na maximálnu hodnotu útlmu na kanál udávanú výrobcom prvku.

## POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou (KEGA) Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky na základe projektu č. 023TUKE-4/2017. Táto práca je tiež výsledkom zmluvy č. VEGA 1/0772/17 - Lokalizácia osôb na základe detekcie ich vitálnych funkcií UWB senzormi krátkého dosahu.

## LITERATÚRA

- [1] P. Ivaniga, "Evaluation of quality in the broadband networks", Proceedings of Int.I AMSE, vol. 01, 1996, ISBN: 80-214-0768-9, pp. 213-215.
- [2] M. Vincent, "Blown-fibre network reaches for the sky", Fibre Systems Europe, vol. 8, , 2005.
- [3] P. Liptai, M. Moravec, M. Badida, "Research of possibilities of using the recycled materials based on rubber and textiles combined with vermiculite material in the area of noise reduction", Advanced Materials Research, vol. 1001, 2014, pp. 171-176.
- [4] P. Ivaniga, "Hodnocení chybovosti ve vysokorychlostních digitálních sítích", Žilinská univerzita v Žiline, 2007 EDIS – vydavateľstvo ŽU, ISBN 978-80-8070-771-2, 97 pp.
- [5] P. Ivaniga, "Informační sítě I", 1 vyd. Žilina, Žilinská univerzita, 1997, ISBN 80-7100-375-1, 98 pp.
- [6] P. Liptai, M. Moravec, E Lumnitzer, K. Lukačová, "Impact analysis of the electromagnetic fields of transformer stations close to residential buildings". In: SGEM 2014, vol. 1, 2014, pp. 355-360.
- [7] E. Mikuš, P. Ivaniga, "Multimediálne prvky v digitálnej knižnici", IT lib. Informačné technológie a knižnice, ISSN:1336-0779, 2006, pp.21- 23.
- [8] T. Ivaniga, L. Ovseník, J. Turán, "Influence of Self-Phase Modulation on 8 and 16-Channel DWDM System with NRZ and Miller Coding", Carpathian Journal of Electronic and Computer Engineering, ISSN: 1844-9689, vol.8, no.1, 2015, pp.17-22.
- [9] P. Ivaniga, J. Smieško, "The relationship between Q - factor and the error rate in optical networks", International Journal of Science Commerce and Humanities, vol. 2, no. 3, 2014, pp. 96-102.
- [10] E. Mikuš, "LMS systém Moodle", E-learn Žilina 2004, ISBN 80-8070-190-3, 2004, pp. 243-248.
- [11] P. Ivaniga, L. Mikuš, "Measuring of Block Error Rates in High-Speed Digital Networks", Advances in Electrical and Electronic Engineering, vol. 5, 2011, pp. 35-36.
- [12] P.Liptai, M. Moravec, M. Badida, "Analysis and comparison of electromagnetic fields radiated by the selected equipment", In: SGEM 2013, vol. 1, 2013, pp. 17-20.

# Experimenty s fyzikálnym modelom PON optických prenosových sietí

<sup>1</sup>Ján TURÁN, <sup>2</sup>Luboš OVSEŇÍK, <sup>3</sup>Tomáš IVANIGA, <sup>4</sup>Luboš KUCHAR

<sup>1,2,3,4</sup>Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>jan.turan@tuke.sk, <sup>2</sup>lubos.ovsenik@tuke.sk, <sup>3</sup>tomas.ivaniga@tuke.sk,  
<sup>4</sup>lubos.kuchar.2@student.tuke.sk

**Abstrakt** — Optické vláknové prenosové siete sa uplatňujú hlavne vďaka ich veľkým prenosovým rýchlostiam, ktoré sú schopné poskytnúť koncovému používateľovi. Dosiadateľná rýchlosť sa pohybuje rádovo od stoviek Mbit/s až po stovky Gbit/s. S požiadavkou na vyššiu prenosovú rýchlosť sa prevažne stretávame pri realizácii pripojenia pre zákazníkov ako sú obchodné centrá, alebo väčšie spoločnosti. Vďaka ich vysokej rýchlosti, optické siete umožňujú simultánnu podporu služieb ako sú IPTV (IP Television), VoIP (Voice over IP) a mnoho ďalších. Cieľom tohto článku je popis pasívnych optických sietí PON (Passive Optical Network), teoretickou problematikou ich vytvorenia a nasadenia, taktiež simuláciou a zároveň experimentálnym meraním PON sietí.

**Kľúčové slová** — OptSim, OTDR, PON

## I. ÚVOD

Architektúra sietí typu PON obsahuje len pasívne prvky, t. j. prvky ktoré nevyžadujú napájanie. Na rozdelenie kapacity vlákna sa používa optický rozbočovač (splitter). Optický rozbočovač je pripojený na vlákno a delí signál na viacero vetiev v závislosti od deliaceho pomeru daného výrobcom [1,2]. Rozbočovač však neuskutočňuje výber kanála patriaceho danej vetve, ale distribuuje signál všetkým vetvám [3]. Vybratie signálu, ktorý patrí do danej vetvy vykonáva až optická sieťová jednotka ONU (Optical Network Unit) na strane koncového používateľa.

Výhodou PON sú nižšie vstupné náklady, a to preto, lebo vzdialenosť medzi ústredňou a ONU je zrealizovaná pomocou jedného vlákna a rozdelenie do vetiev sa uskutočňuje až v blízkosti koncového používateľa siete. Jediným aktívnym zariadením v PON je ONU na strane používateľa, čo je výhodou. Údržbové náklady sú nízke, pretože nie je potrebné napájať a spravovať aktívne zariadenia ako je to v aktívnych sieťach [4,5].

## II. OPTICKÉ SIETE TYPU PON

Od vzniku PON sa na prenos informácií používali rôzne metódy a technológie, existuje preto niekoľko variantov a typov týchto sietí. Tieto typy alebo štandardy sa líšia v prenosovej rýchlosti, poskytovanej sieťou, s ňou spojenou maximálnou vzdialenosťou a maximálnym počtom používateľov pripojených do siete [6]:

**GPON** (Gigabit PON) rozvíja skôr používaný štandard ITU.T G.983, ktorý definoval prvotné optické siete APON (Atm Passive Optical Network) a BPON (Broadband PON). Tieto siete poskytovali pri symetrickom nasadení rýchlosť 155 Mbit/s a pri asymetrickom type v zostupnom smere (download) 622 Mbit/s a pre vzostupný smer (upload) 155 Mbit/s. Oba varianty používali ATM (Asynchronous Transfer Mode) bunky a deliaci pomer 1:32 [7].

GPON (popísaný v doporučení ITU-T G.984), jedná sa len o rozšírenie vyššie popísaného štandardu ITU.T G.983, ktorý aj naďalej zachováva princíp predchádzajúceho štandardu. Vylepšenie spočíva v zvýšení prenosovej rýchlosti na fyzickej vrstve, a to na 1,25 Gbit/s alebo 2,5 Gbit/s zostupne na intervale vlnovej dĺžky 1480 - 1500 nm. Vo vzostupnom smere 2,5 Gbit/s na intervale 1260 - 1360 nm, pri maximálnej preklenuteľnej vzdialenosti 20 km s deliacim pomerom 1:64. Štandard GPON umožňuje ako symetrický, tak aj asymetrický prenos na ATM bunkách, ale predstavuje aj protokol GEM (GPON Encapsulation Mode).

Postupným vývojom vznikli ďalšie rozšírenia pôvodného štandardu, ITU-T G.984.6 a G.984.7 upravujúce útlmové charakteristiky ako aj maximálnu preklenuteľnú vzdialenosť sietí GPON.

**EPON** (Ethernet PON) sa v základe zhoduje s predchádzajúcimi GPON. Rozdiel však nájdeme v štandarde prenášaných rámcov. Štandard EPON sa zaoberá kompatibilitou pasívnej optickej siete s už existujúcim a zabehnutým štandardom ethernet sietí. Implementuje preto prenos ethernet rámcov na druhej vrstve prenosového modelu. Tento prístup sa označuje ako EFM (Ethernet in First Mile) a popisuje ho štandard IEEE 802.3ah [8,9]. Norma sa skladá z dvoch častí EPON typ 1 a EPON typ 2. Prvý typ už nie je v dnešnej dobe použiteľný, pretože jeho maximálna preklenuteľná vzdialenosť je 10 km a maximálny deliaci pomer je 1:16. Typ EPON 2 umožňuje vzdialenosť 20 km a deliaci pomer 1:32, symetrickým prenosom s rýchlosťou 1,25 Gbit/s na vlnovej dĺžke pre zostupný smer 1490nm ± 10 nm a pre vzostupný smer 1310±10 nm.

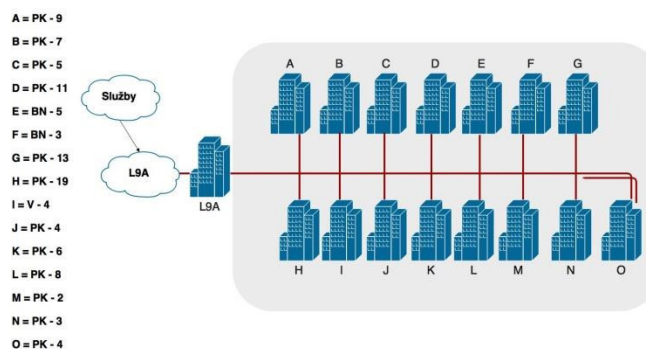
**10GEPON** je štandard z roku 2009. Hlavnou požiadavkou bolo zvýšenie prenosovej rýchlosti so zachovaním prenosových parametrov z predchádzajúcich štandardov, a taktiež je nevyhnutná aj kompatibilita so staršími sieťami a s WDM-PON. Deliaci pomer zostal rovnaký ako pri GPON, ale prakticky je možné dosiahnuť pomer až 1:128. 10GEPON na rozdiel od XG-PON podporuje aj symetrický typ prenosu s rýchlosťou až 10 Gbit/s oboma smermi. Pri voľbe asymetrického prenosu rýchlosť zostupného smeru zostáva 10 Gbit/s, ale rýchlosť vzostupného smeru je obmedzená na 1 Gbit/s. Zostupný smer využíva interval 1575 – 1580 nm, vzostupný smer používa interval 1260 – 1280 nm pre symetrický režim a 1260 – 1360 nm pre asymetrický režim [10].

**XG-GEAPON** je nový štandard založený na svojom predchodcovi GPON je definovaný normou ITU-T G.987 (r. 2010). Skladá sa z dvoch hlavných častí. Prvá časť, prináša kompatibilitu so staršou architektúrou a označuje sa NGA1 (Next Generation Access 1). NGA1 je založená na TDMA (Time Division Multiple Access) a jej účelom je splniť predchádzajúce štandardy PON sietí. Druhá časť, NGA2 (Next Generation Access 2) štandardu sa venuje úplnému nasadeniu vlnovo deleného multiplexu WDM (Wavelength Division Multiplexing), čo má za následok vyššie rýchlosti a efektívnejšie využitie prenosovej kapacity vlákna ako pri predchádzajúcom štandarde GPON [11].

Predpokladaná prenosová rýchlosť pre tento štandard je 10 Gbit/s pre zostupný smer a 2,5 Gbit/s pre vzostupný smer. Keďže sa ukázalo, že preferovaný systém prenosu je asymetrický prenos tak štandard XG-PON bližšie nepopisuje symetrický typ prenosu. Pre zostupný smer je definovaný interval vlnových dĺžok 1575 – 1580 nm a pre vzostupný smer 1260 – 1280 nm. Plné nasadenie WDM zvyšuje deliaci pomer na 1:256. Prechod na tento typ siete je o to jednoduchší, že poskytovateľovi služby stačí vymeniť optickú sieťovú jednotku (OLT - Optical Line Termination) za jednotku s podporou WDM a výmenu ONU realizovať postupne, alebo nechať používateľov, aby si výmenu zrealizovali sami [10,11].

### III. SCHEMATICKÝ PLÁN OPTICKEJ SIETE TYPU PON

Pasívne optické siete sú tvorené len pasívnymi optickými prvkami. Schematický plán pasívnej siete pre TUKE je znázornený na Obr. 1. Červená farba znázorňuje priame optické trasy vytvorené v experimentálnom modeli. Ako centrálny rozvádzač slúži hlavná budova L9A, ku ktorej je pripojená každá budova v areáli. Ako prenosové médium je použité jednovidové vlákno G-652.D. Vlákňové cievky sú dodávané s dĺžkou 200 m. Trasy, ktoré sú dlhšie ako 200m, sú realizované spojením dvoch vlákien nerozoberateľným spojom, zvarom. Schematicky je táto sieť navrhnutá ako prístupová sieť bod-bod. Predpokladané ukončenie optickej časti siete je priamo v budove.

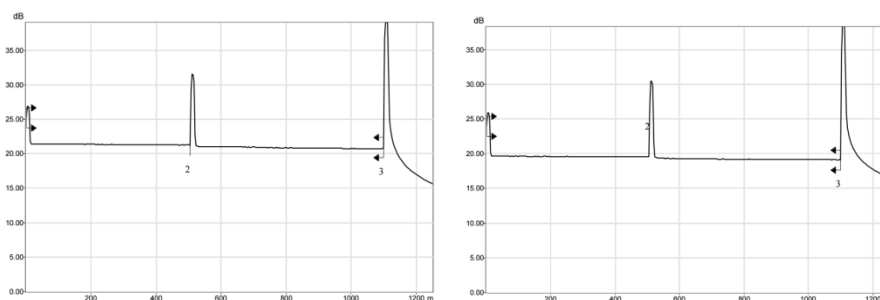


Obr.1. Schéma PON siete Fyzikálneho modelu pre TUKE.



#### IV. FYZIKÁLNE MERANIA NA TRASÁCH OPTICKEJ SIETE PON

Pre praktickú ukážku je zobrazené meranie, ktoré bolo vykonané na PON sieti. Pre znázornenie, a taktiež porovnanie bola zvolená trasa „I“ (L9A - V4). Jedná sa o najdlhšiu trasu fyzikálneho modelu. Táto trasa má dĺžku 400 m a skladá sa z dvoch optických vlákien rovnakého typu (vlákno G-652.D).



Obr.2. Výsledok OTDR merania trasy „I“ pre 1310 nm (vľavo) a 1550 nm (vpravo).

Na Obr. 2 je znázornený výsledok merania OTDR (Optical Time Domain Reflectometry) pre obidve vlnové dĺžky (1310 nm a 1550 nm). Pri oboch meraniach je použité predradené vlákno. Na grafe je predradené vlákno zobrazené ako prvých 500 m vlákna. Následne je na grafe zobrazená nerovnosť a zvýraznená zvislou čiarou, ktorá predstavuje zvar dvoch vlákien.

Tab. 1  
 Zhrnutie výsledkov merania priamej PON siete trasy „I“

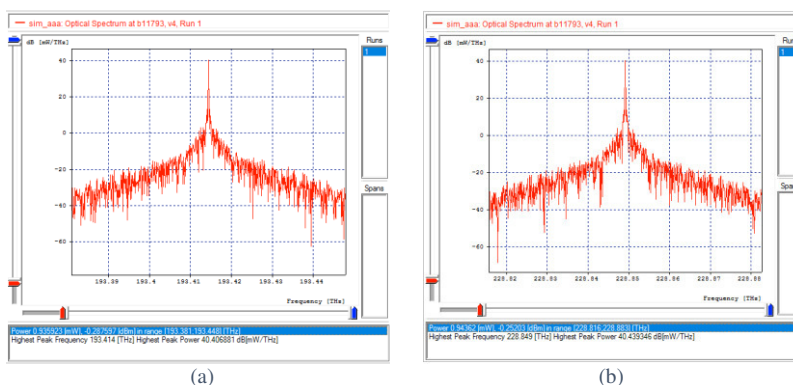
Trasa	1310 nm		1550 nm	
	Simulácia[dB]	OTDR[dB]	Simulácia[dB]	OTDR[dB]
Trasa „I“	0,279518313	0,731	0,27950905	0,525

Meranie splnilo predpoklad nižšieho útlmu na vlnovej dĺžke 1550 nm. V Tab. 1 sú znázornené výsledky merania pre trasu „I“. Táto trasa je podľa merania dlhá 400 m a dosiahnutý útlm tejto trasy je 0.55 dB. OTDR prístroj vyhodnotil na tejto trase jeden konektor a jeden zvar. V trase sa však nachádzal aj druhý konektor, ktorý však pre odraz od Fresnelovej zóny na konci vlákna nebol viditeľný pri meraní. Útlm tohto konektora som určil meraním spätnej trasy, a teda pripojením OTDR do budovy V4.

#### V. VYTVORENIE PON SIETE V PROGRAME OPTSIM

Pri návrhu tejto siete je nevyhnutné navrhnuť sieť tak, aby bolo možné simulovať pripojenie viacerých používateľov. Na Obr. 4 je znázornená schéma pre simuláciu PON siete pre TUKE. Zo schémy je zrejmé, že poskytuje pripojenie pre 15 koncových bodov a po spustení a vyhodnotení simulácie je možné zobrazit' výsledky optickej sondy samostatne pre každého používateľa. Nastavenie vysielačieho zdroja má hodnotu 1 mW.

Pre znázornenie výsledkov simulácie je znova vybratá optická trasa „I“ a sú pre ňu vyhodnotené výsledky simulácie na vlnovej dĺžke 1310 nm a 1550 nm (Obr. 3).



Obr.3 Optické spektrum výstupného signálu trasy I. Na Obr. 3a) sa nachádza spektrum optického signálu pri vlnovej dĺžke 1310. Na Obr. 3b) je optické spektrum pri 1550 nm.



Obr.4 Schéma simulovanej siete PON v programe OptSim.

## VI. VYHODNOTENIE ZÍSKANÝCH VÝSLEDKOV ZO SIMULAČNÝCH A FYZIKÁLNYCH MERANÍ OPTICKEJ SIETE PON

Simulácia ukázala, že pre trasy vo všeobecnosti platí jav zníženia útlmu na vlnovej dĺžke 1550 nm. Pre trasy bol simuláciou vyhodnotený nižší útlm ako pri reálnom meraní. Tento jav je pravdepodobne spôsobený nastavením parametrov vlákien a konektorov, ktoré síce sú nastavené na najvyššiu výrobcom garantovanú hodnotu, ale v skutočnosti ich útlm presiahol túto hodnotu.

V Tab. 2 sú znázornené výsledky simulácie pre všetky priame optické trasy. Pri simulácii sme sa zamerali na parameter útlmu pri rôznych vlnových dĺžkach. Tento parameter bol určený prepočtom z výkonu na výstupe trasy.

Tab. 2  
 Vyhodnotenie simulácie priamych optických sietí Fyzikálneho modelu PON sietí pre TUKÉ

Trasa	Výkon na konci trasy [mW]	Celkový útlm trasy [dB]	Výkon na konci trasy [mW]	Celkový útlm trasy [dB]
A	0,9413	0,262484	0,941353	0,26247
B	0,9397	0,269941	0,939738	0,269932
C	0,9470	0,236431	0,947017	0,236422
D	0,9454	0,243703	0,945431	0,243701
E	0,9320	0,305789	0,932015	0,305772
F	0,9324	0,293093	0,934743	0,293077
G	0,9461	0,240561	0,946115	0,240562
H	0,9417	0,260564	0,941277	0,260551
I	0,9376	0,279513	0,937668	0,279505
J	0,9362	0,286053	0,936258	0,286044
K	0,9412	0,262734	0,941299	0,262724
L	0,94622	0,240766	0,946222	0,240069
M	0,9470	0,236436	0,937668	0,279509
N	0,9470	0,236436	0,947011	0,236447
O	0,9469	0,236765	0,946941	0,236770

V Tab. 3 sú zobrazené výsledky merania pomocou OTDR. Merania boli vyhodnotené pre dve vlnové dĺžky (1310 nm a 1550 nm). Následne sú vyhodnotené dĺžky danej trasy s predradeným vláknom, avšak vo výsledkoch sa nachádzajú hodnoty merania už bez útlmu predradeného vlákna. Z výsledkov možno pozorovať zníženie útlmu pre vlnové dĺžky 1550 nm rádovo od 0.1 až 0.2 dB. Pre vyšší odraz na rozhraní vlákno vzduch boli optické konektory dobre viditeľné na všetkých trasách a vlnových dĺžkach. Toto tvrdenie, však neplatí pre optické zvary, ktoré neboli vždy viditeľné v grafe. Tento nedostatok sa podarilo čiastočne odstrániť zmenou dĺžky meracieho impulzu, respektíve nastavením väčšej dĺžky spracovania signálu na prístroji OTDR.

Tab. 3  
 Vyhodnotenie výsledkov OTDR merania pre priame PON siete Fyzikálneho modelu PON sietí pre TUKE

Trasa	Budova	Priame meranie		Spätné meranie		Dĺžka [km]
		Útlm [dB] pri 1310 nm	Útlm [dB] pri 1550 nm	Útlm [dB] pri 1310 nm	Útlm [dB] pri 1550 nm	
A	PK - 9	0,537	0,456	0,566	0,428	0,3308
B	PK - 7	0,638	0,473	1,387	1,233	0,2066
C	PK - 5	0,506	0,385	0,538	0,437	0,1701
D	PK - 11	0,761	0,523	0,551	0,443	0,2432
E	BN - 5	0,703	0,466	0,553	0,395	0,3732
F	BN - 3	0,643	0,439	0,757	0,515	0,399
G	PK - 13	0,417	0,307	0,425	0,343	0,2117
H	PK - 19	0,471	0,3	0,939	0,9	0,3156
I	V - 4	0,731	0,525	0,786	0,577	12,1899
J	PK - 4	0,489	0,383	0,736	0,667	0,3676
K	PK - 6	0,761	0,582	0,451	0,366	0,3332
L	PK - 8	0,534	0,487	0,589	0,457	0,2068
M	PK - 2	0,397	0,367	0,821	0,673	0,1745
N	PK - 3	0,438	0,367	0,434	0,368	0,1702
O	PK - 4	0,429	0,329	0,55	0,409	0,1735

## VII. ZÁVER

Simulovaná trasa je vytvorená pre každý koncový bod siete PON. Simulácia bola vykonaná na vlnovej dĺžke 1310 nm a 1550 nm. V porovnaní simulácie a fyzikálneho merania pomocou OTDR metódy sa prejavil opačný efekt, a to nižšie namerané hodnoty tejto trasy ako pri jej simulácií. Dôvodom tohto javu bolo nastavenie veľkosti útlmu jednotlivých prvkov siete pri simulácií na maximálnu hodnotu útlmu na kanál udávanú výrobcem prvku.

## POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou (KEGA) Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky na základe projektu č. 023TUKE-4/2017. Táto práca je tiež výsledkom zmluvy č. VEGA 1/0772/17 - Lokalizácia osôb na základe detekcie ich vitálnych funkcií UWB senzormi krátkého dosahu.

## LITERATÚRA

- [1] M. Filka, "Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku", Brno, 2009, 1<sup>st</sup> edition, ISBN 978-80-86785-14-1, 369 pp.
- [2] P. Ivaniga, J. Smieško, "The relationship between  $Q$  - factor and the error rate in optical networks", International Journal of Science Commerce and Humanities, vol. 2, no. 3, 2014, pp. 96-102.
- [3] E. Mikuš, "LMS systém Moodle", E-learn Žilina 2004, ISBN 80-8070-190-3, 2004, pp. 243-248.
- [4] P. Ivaniga, "Hodnocení chybovosti ve vysokorychlostních digitálních sítích", Žilinská univerzita v Žiline, 2007 EDIS – vydavateľstvo ŽU, ISBN 978-80-8070-771-2, 97 pp.
- [5] P. Liptai, M. Moravec, M. Bařida, "Analysis and comparison of electromagnetic fields radiated by the selected equipment", In: SGEM 2013, vol. 1, 2013, pp. 17-20.
- [6] E. Mikuš, P. Ivaniga, "Multimediálne prvky v digitálnej knižnici", IT lib. Informačné technologie a knižnice, ISSN:1336-0779, 2006, pp.21- 23.
- [7] P. Ivaniga, E. Mikuš, "The relationship between G.826 Error Performance Objectives and Equivalent BER", Journal of Information, Control and Management Systems, vol. 5, no.1, 2007 pp.39 – 45.
- [8] G.984.1 : Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics. Switzerland: International Telecommunication Union (ITU), 2010-06-18. 52pp.
- [9] P. Liptai, M. Moravec, E. Lumnitzer, K. Lukačová, "Impact analysis of the electromagnetic fields of transformer stations close to residential buildings". In: SGEM 2014, vol. 1, 2014, pp. 355-360.
- [10] P. Ivaniga, "Informační sítě P", 1 vyd. Žilina, Žilinská univerzita, 1997, ISBN 80-7100-375-1, 98 pp.
- [11] P. Ivaniga, E. Mikuš, "Measuring of Block Error Rates in High-Speed Digital Networks", Advances in Electrical and Electronic Engineering, vol. 5, 2011, pp. 35-36.

# Mobilná Aplikácia pre Správu Medicínskych Meraní

*František BABIČ, Kevin RICHTER*

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Technická univerzita v Košiciach

frantisek.babic@tuke.sk, kevin.richter@student.tuke.sk

**Abstrakt** — Internet vecí (IoT) nám prináša širokú paletu možností, ako využívať a komunikovať s navzájom prepojenými zariadeniami. V oblasti medicíny, zdravého životného štýlu a zdravotnej starostlivosti umožňuje preniesť časť povinností priamo na pacienta, napr. prostredníctvom rôznych nositeľných senzorov alebo zariadení schopných komunikovať s mobilnými telefónmi. V našom prípade sme sa rozhodli zamerať na oblasť prevencie srdcovo-cievnych ochorení, ktorých úmrtnosť je na Slovensku trikrát vyššia ako napr. vo Francúzsku alebo v Kanade. Bežne dostupné tlakomery umožňujú základnú zdravotnú starostlivosť, ale v konečnom dôsledku si musí používateľ namerané hodnoty niekam zaznamenávať manuálne, aby boli k dispozícii napr. lekárovi. Alebo je pacient ochotný zaplatiť za vyššie rady tlakomerov, ktoré už umožňujú výmenu dát s natívnymi aplikáciami výrobcov, ktoré sú však často k dispozícii len v anglickom jazyku a neprispôsobenom dizajne. Preto sme sa rozhodli vytvoriť mobilnú aplikáciu, ktorá ponúkne možnosť automatickej interakcie s tlakomerom bežne dostupným na Slovensku v prívetivej forme pre cieľovú skupinu.

**Kľúčové slová** — IoT, Bluetooth, tlakomer, mobilná aplikácia

## I. ÚVOD

Internet vecí (IoT) je koncept bezdrôtovej siete objektov najrôznejších druhov (napr. teplomer, auto, chladnička, okná, či rôzne senzory a snímače) pripojených na Internet alebo prepojených medzi sebou, schopných odosielať či prijímať údaje. Z bežného života môžeme poznať Internet vecí ako množstvo „nositeľností“, doplnkov ako fitness náramky, chytré hodinky, bezdrôtové medicínske zariadenia a pod., ktoré dokážu rôznym spôsobom interagovať s používateľom a uchovávať či zdieľať nazbierané dáta. Podľa spoločnosti Cisco tvorí Internet vecí v súčasnej dobe viac ako 15 miliárd zariadení a odhaduje sa, že do roku 2020 sa tento počet zdvojnásobí [1].

Slovenský trh nám ponúka veľké množstvo produktov, ktoré sú zamerané na zdravie človeka. Jedná sa o osobné digitálne váhy, chytré hodinky, masážne prístroje, teplomery, merače pulzu, glukomery, tlakomery, inhalátory a podobne. Pri väčšine týchto kategórií môžeme pozorovať trend prinášajúci do daného odvetvia bezdrôtovú komunikáciu (najčastejšie technológiou Bluetooth alebo wi-fi) a možnosťou ovládať dané zariadenie prostredníctvom chytrého telefónu či tabletu.

Podľa správy OECD Health 2016 [2] tvoria srdcovo-cievne ochorenia až jednu tretinu zo všetkých ochorení, na ktoré ľudia z Európskych krajín zomierajú. Aby toho nebolo málo, podľa tejto správy Slovenská republika vykazuje najvyššiu mieru úmrtnosti na srdcovo-cievne ochorenia. Úmrtnosť na srdcovo-cievne ochorenia Slovákov je trikrát vyššia ako napríklad vo Francúzsku či v Kanade. Tento fakt motivoval návrh a implementáciu aplikácie, ktorej cieľom je zjednodušiť používateľom tlakomerov ich ovládanie a jednoduchou formou im podať dôležité informácie o ich zdravotnom stave, po prípade odporúčanie vyhľadať lekára.

## II. ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU

### A. Výber Tlakomeru

Pri výbere vhodného zariadenia sme si stanovili dva základné typy tlakomerov, ktoré sú dostupné na Slovensku: na zápästie a na ruku. Následne sme odseparovali bežné tlakomery od tých, ktoré podporujú technológiu bezdrôtového prenosu dát do mobilných zariadení prostredníctvom technológie Bluetooth. Od každého výrobcu sme vybrali jeden až dve najpredávanejšie modely tlakomerov a porovnali ich cenové kategórie, vlastnosti funkcie, výdrž

batérie a niekoľko ďalších funkcií. V poslednom kroku sme sa zamerali na podporu od developerov, dokumentáciu popisujúcu spôsob komunikácie tlakomera so zariadením, prípadne typ a štruktúru posiadaného súboru. Dalo by sa povedať, že tento bod bol najdôležitejší zo všetkých, pretože bez takejto dokumentácie nie je možné vytvoriť mobilnú aplikáciu komunikujúcu so zariadením tretej strany (Obr.1).

Hlavným výsledkom tohto prieskumu bolo zistenie, že mnoho výrobcov dodáva spolu s hardvérovými zariadeniami aj softvérové aplikácie zastrešujúce komunikáciu s ich zariadeniami. To spôsobuje, že výrobcovia nie sú motivovaní k tomu, aby verejne poskytovali dokumentáciu a prístup k svojim zariadeniam. Nakoniec sme sa rozhodli pre výrobok spoločnosti iHealth, ktorá napriek vlastnej aplikácii pre OS Android zverejnila potrebnú dokumentáciu a Android SDK.

Tabuľka 1  
 Zoznam porovnávaných tlakomerov

Výrobca	Model	Typ	Cena v €	Poznámka
Medisana	BW 300	na zápästie	62	podpora prístupu na cloud nie
Medisana	BU 575	na pažu	90	Bluetooth komunikácie
Omron	M7 Intely IT	na zápästie	80	knižnica libomron - rieši iba
Omron	MIT 5 Connect	na pažu	81	prepojenie s PC
Beuer	BM-85	na pažu	93	firma neodpísala na žiaden z mailov
König	30 B	na zápästie	34	
König	BLDPRESS 30B	na pažu	38	bez podpory developerov
Ade Germany	BPM 1400	na zápästie	92	bez podpory developerov
iHealth	BP7	na zápästie	73	otvorené API + dokumentácia po
iHealth	BP5	na pažu	92	schválení
Withings	70027901	na pažu	127	knižnica withings.lib

### B. Existujúce mobilné aplikácie

V súčasnosti trh mobilných aplikácií pre OS Android umožňuje používateľom stiahnuť si z Google obchodu na svoje zariadenia obrovské množstvo aplikácií, ktoré riešia problematiku krvného tlaku, jeho merania či zaznamenávania. Medzi týmito aplikáciami sa však nachádza aj mnoho takých, ktoré napriek klamlivým názvom neponúkajú to, čo používateľ očakáva. Sú to napríklad aplikácie, ktoré vystupujú akoby vedeli merať krvný tlak priložením palca na displej telefónu, čo je v dnešnej dobe technologicky nemožné. Takéto aplikácie sú buď schválne klamlivé alebo sú priamo ich autormi určené iba na pobavenie používateľa, čo však môže mať často aj opačný účinok. Potom sú tu aplikácie, ktoré dokážu poslúžiť ako denník nameraného krvného tlaku, no neumožňujú spojenie s tlakomerom a automatický zápis nameraných hodnôt. Na samom vrchole sú aplikácie vydávané priamo samotnými výrobcami Bluetooth tlakomerov. Umožňujú spojenie s tlakomerom, zápis nameraných hodnôt, ako aj zobrazenie histórie meraní, grafov, či iných pomocných informácií. Tieto aplikácie majú však mnoho negatívnych hodnôt (často viac ako 50%) od používateľov, ktorí si ich stiahli a používali, čo jednoznačne svedčí o ich nízkej spoľahlivosti. Možno to súviselo práve s pomerne zložitým ovládaním aplikácie prostredníctvom zložitých gest, či viacerých prstov. Najväčšou nevýhodou však bola neexistujúca podpora pre slovenský alebo aspoň český jazyk.

Mobilná aplikácia VitaDock od spoločnosti Medisana mala v internetovom obchode Google Play aj napriek opticky príťažlivému dizajnu najslabšie hodnotenie zo všetkých porovnávaných aplikácií, a to 3.3. Po nainštalovaní aplikácie sa ukázalo, že práve dizajn je príčinou väčšiny negatívnych reakcií. Na prvý pohľad je príťažlivý, no ovládanie aplikácie je vďaka animáciám veľmi zdĺhavé a nudné. Aplikácia často nezareaguje na prvý dotyk a tak je potrebné pre vykonanie akcie často dotyk opakovať.

Druhá mobilná aplikácia My Heart je hodnotená používateľmi známku 4.1, čo sa dá považovať za celkom dobré hodnotenie. Táto aplikácia má viacero užitočných funkcií, ako zaznamenávanie nameraného krvného tlaku, pripomenutie pravidelného merania notifikáciou, vyhodnotenie nameraných hodnôt a podobne. Dalo by sa povedať, že táto aplikácia spĺňa takmer všetko, čo od nej používateľ očakáva. Za jej slabé stránky je možné opäť považovať jednoznačne dizajn, ktorý je strohý a miestami mätúci, čo sťažuje ovládateľnosť aplikácie.

Mobilná aplikácia Runtastic Heart Rate má výborné hodnotenie známku 4.3, čo svedčí o jej kvalite. Hlavnou funkciou aplikácie je schopnosť odmerať tep ľudského srdca pomocou LED diódy a kamery na chytrom telefóne. Po priložení prstu na kameru a zakrytí diódy kamera zariadenia dokáže zachytiť odchýlky v hodnote presvetlenia prstu a na základe týchto odchýlok

vypočítať približný srdečný rytmus. Treba však podotknúť, že aj napriek výbornému spracovaniu aplikácie, sú ňou poskytnuté údaje len orientačné a spoľahlivosť tejto metódy merania srdečného tepu je pomerne nízka.

Mobilná aplikácia Blood Pressure Log – MyDiary má najvyššie hodnotenie zo všetkých porovnávaných aplikácií. Je hodnotená známou 4.6, čo predstavuje úctyhodné číslo. Primárne slúži na zaznamenávanie nameraného krvného tlaku. Používateľov poteší jednoduchým no intuitívnym dizajnom, v ktorom sa ľahko orientuje. Aplikácia dokáže pripomenúť používateľovi pravidelné meranie a ponúka aj import a export údajov. Nevýhodou aplikácie je, že nepodporuje slovenský jazyk, nedá sa pripojiť na externé medicínske zariadenie a meranie tlaku zaznamenať automaticky.

### III. NÁVRH A IMPLEMENTÁCIA VLASTNÉHO RIEŠENIA

#### A. Identifikácia Používateľských Požiadaviek

Keďže je všeobecne známe, že zdravotný stav starších ľudí vo veku nad 45 rokov je o poznanie horší ako ľudí mladších, predstavuje táto veková kategória našich cieľových používateľov. Tomuto rozhodnutiu je potrebné aj prispôbiť návrh samotnej aplikácie, aby aj menej technicky zdatní používatelia mohli bez problémov využívať všetky funkcie, ktoré bude ponúkať. To vyžaduje plnú dostupnosť aplikácie v slovenskom jazyku a jednoduchý, intuitívny dizajn aplikácie nevyžadujúci žiadne zložité ovládacie gestá, pri ktorých musí používateľ používať viacero prstov, alebo vyťahovať menu aplikácie z bočnej strany displeja zariadenia. Toto tvrdenie dokazuje aj výskum realizovaný ministerstvom školstva v spolupráci s agentúrou OECD, v ktorom len 63% respondentov (vo veku 18-65 rokov) dokázalo na vyriešenie zadaných úloh použiť IKT [3]. Z tohto výskumu tiež vyplýva, že Slovensko patrí medzi tri najhoršie Európske krajiny, čo sa týka schopnosti dospelých ľudí používať IKT.

Návrh požiadaviek:

- Plná dostupnosť všetkých údajov aplikácie v slovenskom jazyku.
- Jednoduché ovládanie aplikácie bez potreby použitia zložitých viacprstových gest.
- Automatické prijímanie nameraných údajov z bezdrôtového tlakomeru prostredníctvom Bluetooth technológie.
- Možnosť ručného pridania nameraného tlaku z iného (staršieho) tlakomeru.
- Prezeranie si zoznamu doteraz nameraných údajov krvného tlaku.
- Funkcia vyhodnotenia ručne pridaného či automaticky nameraného krvného tlaku.
- Možnosť prezerania štatistiky doteraz nameraných údajov v grafickej podobe.
- Možnosť nastavenia si pripomenutia pravidelného merania formou notifikácie.

#### B. Návrh Používateľského Rozhrania

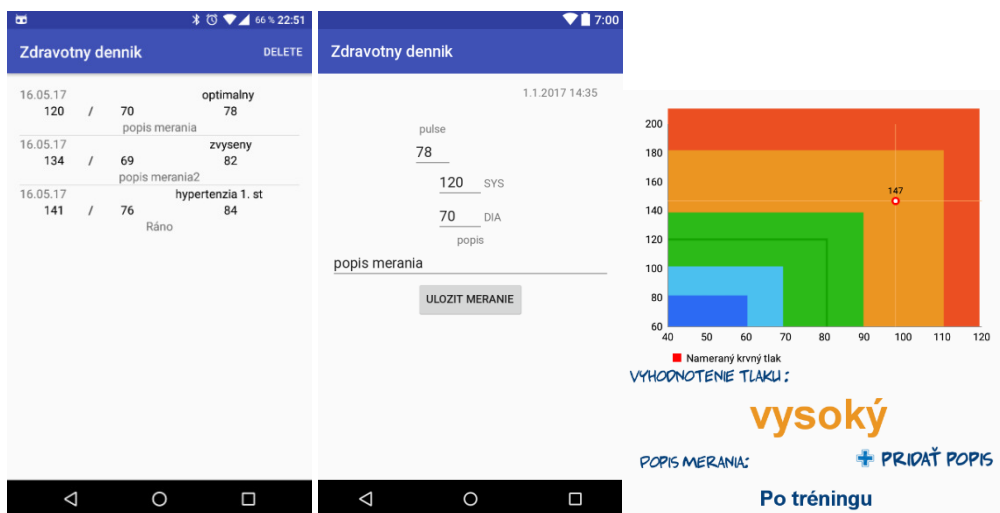
Dobre navrhnutý dizajn používateľského rozhrania zabezpečí jednoduché a efektívne používanie aplikácie. Na to úzko nadväzuje aj spokojnosť používateľa s aplikáciou. Dizajn nesmie obmedzovať funkčnosť aplikácie, nech je akokoľvek prítlačlivý. Pri návrhu sme teda vychádzali z požiadaviek cieľovej skupiny a zohľadnili sme aj niekoľko princípov používaných pri tvorbe používateľských rozhraní [4]:

- Princíp definovania používateľa – pri návrhu je potrebné si uvedomiť, aké technologické vedomosti a skúsenosti bude používateľ aplikácie mať.
- Princíp viditeľností funkcií – jednoznačnosť zobrazovania dôležitých funkcií.
- Princíp zamerania – dizajn dôležitých častí aplikácie musí byť pre používateľa jednoducho viditeľný.
- Princíp pomoci – poskytnutie takej miery pomoci, akú používateľ pri používaní aplikácii potrebuje.
- Princíp estetiky – dizajn aplikácie musí vyzeráť príjemne a esteticky.
- Princíp používateľského testovania – nechať používateľa vyjadriť svoje názory na aplikáciu.

V súlade s vymenovanými princípmi sme použili najjednoduchší a čo najviac intuitívny dizajn. Ten bude tvoriť biele pozadie, ktoré bude na všetkých aktivitách aplikácie a nebude nijako rušiť ani rozptyľovať používateľa. Obsah aplikácie vrátane textu bude tvorený dvoma dostatočne kontrastnými modrými odtieňmi. Menu aplikácie ako aj väčšina tlačidiel bude tvoriť séria jednoduchých svetlomodrých ikoniek, ktoré budú doplnené o pomocné texty vyjadrujúce ich význam. Ikonky budú dostatočne veľké a pre používateľa ľahko zapamätateľné.

### C. Implementácia

Implementácia mobilnej aplikácie prebiehala v troch fázach. Prvý prototyp riešil komunikáciu s SQLite databázou a všetky funkcie, ktoré súviseli so samotným meraním krvného tlaku. Do zoznamu v databáze bolo možné ručne pridávať nové merania, či zmazať ľubovoľnú položku zo zoznamu meraní. Takisto v tomto prototypu už bola dostupná funkcia na vyhodnotenie nameraných údajov podľa knihy R. Češka [5]. Tento prototyp neumožňoval spojenie s externým medicínskym zariadením, čiže ani automatické spracovanie merania krvného tlaku. Dizajn tohto prototypu tvorili základné tlačidlá vývojového prostredia na bielom pozadí (Obr.1).



Obr. 1 Ukážka prvého prototypu.

Druhý prototyp je postavený na základe prvého, ktorého funkcionalitu obohacuje o automatické prijímanie údajov zo zariadenia. Keďže cieľom bolo pripojiť sa na prístroj automaticky bez potreby interakcie s používateľom, aktivitu zabezpečujúcu spárovanie aplikácie so zariadením charakterizuje iba jeden zoznam, do ktorého bolo zapísané nájdené zariadenie. Po úspešnom spárovaní zariadení sa automaticky vyvolala aktivita samotného zariadenia.



Obr. 2 Ukážka finálnej verzie.

Tretí prototyp a zároveň finálna verzia obsahuje všetky požadované funkcie, ktoré boli popísané v analýze používateľov (Obr.2). V tejto verzii je tiež implementovaný dizajn aplikácie v plnej miere a aplikácie je plne pripravená na použitie. Takisto spĺňa princípy návrhu používateľského rozhrania a ponúka používateľovi jednoduchý a funkčný dizajn, ktorý ho dokáže pri používaní aplikácie viesť.

#### D. Testovanie

Hlavným cieľom testovania je overiť správnosť fungovania finálnej verzie aplikácii, objaviť prípadné chyby a taktiež overiť intuitívnosť jej používania. V neposlednom rade medzi ciele testovania tiež patrí zber spätnej väzby od používateľov o tom, ako sa im vyvíjaná mobilná aplikácia využívala a ako sú spokojní s jej využívaním.

Správnosť fungovania aplikácie sme testovali po každom prototypu prostredníctvom metódy black-box. Toto priebežné testovanie odhalilo niekoľko malých logických chýb v rôznych funkciách, ktoré boli vždy odstránené v nasledujúcom prototypu. Testovanie finálnej verzie nepreukázalo žiadne logické chyby v aplikácii. Všetky reálne výstupné hodnoty, ktoré aplikácia vrátila, boli zhodné s očakávanými hodnotami založenými na vstupných údajoch.

Dizajn aplikácie a spokojnosť s jej používaním sme testovali pomocou šiestich testovacích subjektov, ktorí mali za úlohu splniť 7 jednoduchých úloh s aplikáciou. Testovacie subjekty boli vo vekovom rozmedzí 50 – 65 rokov, čo zodpovedá cieľovej kategórii používateľov. Po splnení všetkých úloh dostal každý testovací subjekt na vyplnenie krátkeho elektronického dotazníka s niekoľkými otázkami, v ktorom vyhodnotil ako na neho pôsobil dizajn aplikácie a ako bol spokojný s jej používaním. Väčšina testovacích subjektov nemala s ovládaním aplikácie žiadne problémy. 5 zo 6 subjektov vyjadrilo spokojnosť s dizajnom aplikácie. Všetky funkcie vytvorené v aplikácii považovali testovacie subjekty za užitočné, až na 3 výnimky. Pri každej z týchto troch výnimiek sa jeden zo šiestich testovacích subjektov vyjadril o funkcii neutrálne. Jedná sa o funkciu ručného pridávania meraní do aplikácie, zoznam všetkých meraní a grafickú štatistiku meraní. Všetky tieto 3 funkcie ponúka aj väčšina konkurenčných aplikácií, čím sa dá vysvetliť aj toto hodnotenie. Testovacie subjekty to nevyhodnotili ako nič nové, ale iba ako štandard, ktorý by mala poskytovať každá aplikácia tohto typu.

#### IV. ZÁVER

Cieľom našej práce bolo overiť možnosti v oblasti aplikácie Internetu vecí do zdravotníckej starostlivosti. Prostredníctvom analýzy dostupných riešení sme si overili, že nie je jednoduché vytvoriť softvérový produkt, ktorý by bol schopný komunikácie s medicínskymi zariadeniami od rôznych výrobcov. Väčšina výrobcov si svoje know-how stráni a z marketingových dôvodov ponúka používateľovi k hardvéru aj vlastnú softvérovú aplikáciu. Na druhej strane sú potom veľké IT firmy ako Apple, ktoré vo svojich operačných systémoch ponúkajú porovnateľne zamerané aplikácie a svojou veľkosťou a počtom podporovateľov motivujú výrobcov medicínskych zariadení k spolupráci. Preto, v prípade našich aktuálnych a budúcich projektových zámeroch ako personalizovaná medicína, podpora zdravého životného štýlu u starších ľudí a podobne sa musíme zamerať na technologické riešenia založené na otvorených platformách, ktoré bude možné následne integrovať do fungujúceho celku. Inak budeme odkázaní na „biznis“ riešenia príslušnej firmy.

Ďalším dôležitým predpokladom pre úspešné používanie vytvorenej aplikácie v reálnom živote je úprava legislatívy v oblasti zdieľania medicínskych údajov na Slovensku. Podľa momentálnej právnej úpravy nie je možné zdieľať namerané údaje z medicínskych zariadení medzi pacientom a lekárom v elektronickej forme. Preto sme v poslednom kroku integrovali do našej aplikácie možnosť exportu nameraných záznamov. Ak sa táto otázka posunie pozitívnym smerom v kombinácii s legislatívou EÚ, otvoria sa na Slovensku široké možnosti v oblasti elektronického zdravotníctva a využívania inteligentných zariadení na zabezpečenie personalizovanej zdravotníckej starostlivosti.

Vytvorená aplikácia ponúka jednoduchý dizajn, ktorý poskytuje všetky potrebné informácie používateľovi jasnou a intuitívnou formou, rovnako aj na ovládanie aplikácie, ktoré nevyžaduje od používateľa žiadne zložité viacprstové gestá. Aplikácia umožňuje komunikáciu s externým zariadením na meranie tlaku od spoločnosti iHealth. Na základe tejto komunikácie je aplikácia schopná automaticky prijímať namerané údaje na externom zariadení, prijaté dáta spracovať, vyhodnotiť a uložiť do databázy. Spárovanie aplikácie so zariadením prebieha plne automaticky, čo značne prispieva k jednoduchosti používania aplikácie. Výhodou je tiež oficiálne schválenie aplikácie spoločnosťou iHealth pre komunikáciu so všetkými zariadeniami tejto spoločnosti. Táto aplikácia neslúži len na zaznamenávanie krvného tlaku používateľa, ale poskytuje mu tiež grafický prehľad o vývoji nameraného krvného tlaku, dokáže mu pripomenúť pravidelné meranie krvného tlaku formou notifikácie v telefóne a v neposlednom rade všetky merania akýmkoľvek spôsobom zadané do aplikácie automaticky vyhodnocuje a informuje používateľa o stave jeho krvného tlaku. Tieto funkcie robia z aplikácie každodenného pomocníka pre používateľov, ktorí majú problémy s krvným tlakom a musia si ho merať pravidelne. Vďaka tejto aplikácii nemusia na tieto merania stále myslieť a automatickým meraním bez nutnosti prepisovať údaje do aplikácie ušetriť veľké množstvo času.



#### POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt "Centrum informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy" (kód ITMS:26220120020), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

#### POUŽITÉ ZDROJE

- [1] D. Evans, *The Internet of Things: How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything*. CISCO, 2011.
- [2] OECD Health Statistics 2016: <http://www.oecd.org/els/health-systems/health-statistics.htm>
- [3] OECD, Výskum kompetencií dospelých, Národná správa Slovensko 2013: [https://www.oecd.org/skills/piaac/Slovakia\\_in%20Slovak.pdf](https://www.oecd.org/skills/piaac/Slovakia_in%20Slovak.pdf)
- [4] R. Molich, J. Nielsen, *Improving a human-computer dialogue*. Communications of the ACM, 33(3), s. 338-348, 1990.
- [5] R. Češka, P. Dítě, T. Štulc, V. Tesař, *Interna*. TRITON, Praha, 2010.

# Vplyv javu FWM v DWDM systéme s využitím EDFA

<sup>1</sup>Tomáš HUSZANÍK, <sup>2</sup>Luboš OVSEŇÍK, <sup>3</sup>Ján TURÁN, <sup>4</sup>Tomáš IVANIGA

<sup>1,2,3,4</sup>Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>tomas.huszanik@student.tuke.sk, <sup>2</sup>lubos.ovsenik@tuke.sk, <sup>3</sup>jan.turan@tuke.sk,  
<sup>4</sup>tomas.ivaniga@tuke.sk

**Abstrakt** — Veľmi dôležitým komponentom WDM (Wavelength Division Multiplex) systémov je optický zosilňovač EDFA (Erbium-doped Fiber Amplifier), ktorý zosilňuje optický signál na všetkých vlnových dĺžkach. Nepochybne dôležitými komponentami plne optických komunikačných systémov sú aj optické vysieláče, multiplexory, resp. demultiplexory a prijímače. Pre potreby pozorovania nelineárneho javu FWM (Four Wave Mixing) bol v prostredí OptSim vytvorený 8-kanálový model DWDM (Dense Wavelength Division Multiplex) systému s prenosovou rýchlosťou 10 Gbps, podľa štandardu ITU-T G.694.1. V prostredí Matlab boli vytvorené kódy pre Millerov kód a EAM (Electro-Absorption Modulator), ktoré boli následne implementované do OptSimu.

**Kľúčové slová** — DWDM, EDFA, FWM, OptSim

## I. ÚVOD

Dnešná doba by sa dala charakterizovať ako informačný vek, v ktorom neustále rastú požiadavky na objem prenášaných informácií a na ich prenosové rýchlosti. Objem prenášaných dát po telekomunikačných a dátových sieťach neustále rastie, a to vedie konštruktérov hľadať stále nové riešenia, ktoré by dokázali pokryť rastúci dopyt po telekomunikačných službách.

Najpoužívanejšími prenosovými médiami boli už od nepamäti metalické vedenia, ako napríklad koaxiálny kábel alebo krútené dvojlinky. Avšak nástupom IP telefónie, videoaplikácií, ako napr. videotelefónia či videostreaming a iných multimediálnych aplikácií, sa stalo použitie metalických vedení nedostatočným a značne obmedzujúcim. Preto bolo potrebné nájsť nový druh vedenia, ktoré prevýši schopnosti a možnosti metalických vedení. Týmto novým druhom vedenia sa stalo optické vlákno [1,2]. Optické vlákno nám oproti metalickým vedeniam ponúka prakticky neobmedzenú šírku pásma a tiež podstatne vyššie prenosové rýchlosti. Nespornou výhodou optických vlákien je, že nepodliehajú korózii. Keďže na prenos po optickom vlákne sa používa svetlo generované laserom alebo LED diódou, sú optické vlákna odolné voči elektromagnetickému rušeniu. Fyzické rozmery optických káblov sú tiež menšie ako rozmery metalických káblov.

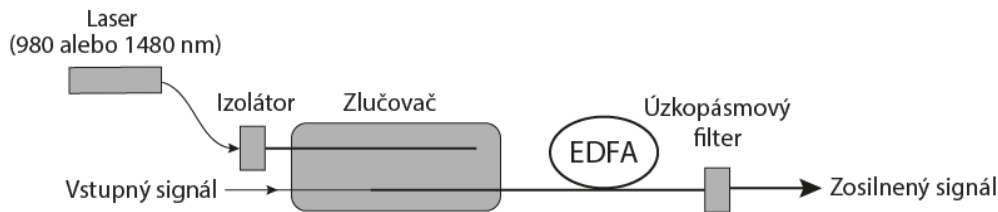
Pre dosiahnutie čo najlepšej kvality prenosu informácií po optických vláknach bolo dôležité dôkladne poznať vlastnosti optiky, fotoniky či optoelektroniky a porozumieť javom vznikajúcim v optických vláknach. S nárastom prenosových rýchlostí a vzdialeností narážame na limity optických vlákien [3]. Hlavným faktorom určujúcim kvalitu a spoľahlivosť prenosu signálu je útlm a disperzia optického vlákna. Nemožno nespomenúť aj nelineárne javy ako napr. vlastná fázová modulácia SPM (Self Phase Modulation), krížová fázová modulácia XPM (Cross Phase Modulation) a štvorvlnové zmiešavanie FWM, ktoré vo výraznej miere ovplyvňujú prenos signálov optickými vláknami.

Predmetom príspevku v rámci práce autorov je overenie vplyvu FWM na 8-kanálový DWDM systém s použitím optického zosilňovača EDFA použitím softvérov OptSim a Matlab.

## II. CHARAKTERISTIKA EDFA

EDFA umožnil konštruktérom optických komunikačných systémov využiť na prenosy optické okno v okolí 1550 nm a tiež výrazne prispel k zvyšovaniu prenosových rýchlostí a k zvyšovaniu prenosových vzdialeností.

Erbium dopované optické vlákno je druh kremičitého optického vlákna, ktorého jadro je dopované iónmi erbia  $Er^{3+}$ . Elektróny erbiom dopovaného optického vlákna môžu byť excitované do vyšších energetických hladín budením svetla s kratšou vlnovou dĺžkou. EDFA je veľmi efektívne v pásmach C (1530 nm – 1560 nm) a L (1570 nm – 1610 nm) [4]. Ideálna charakteristika zisku EDFA je dosiahnuteľná v oblasti 1530 nm – 1560 nm. Zisk dosiahne hodnotu 0dB pri vlnovej dĺžke 1616 nm [5]. Typický zisk erbiom dopovaného optického vlákňového zosilňovača na vzdialenosť približne 10 metrov je 20 – 30 dB. Maximálny dosiahnuteľný výkon na výstupe zosilňovača je limitovaný výkonom čerpaného zdroja svetla. Hodnota tohto výkonu sa môže pohybovať v rozmedzí 20 – 50 mW (13 – 17 dBm). Základná konfigurácia EDFA je na Obr. 1.



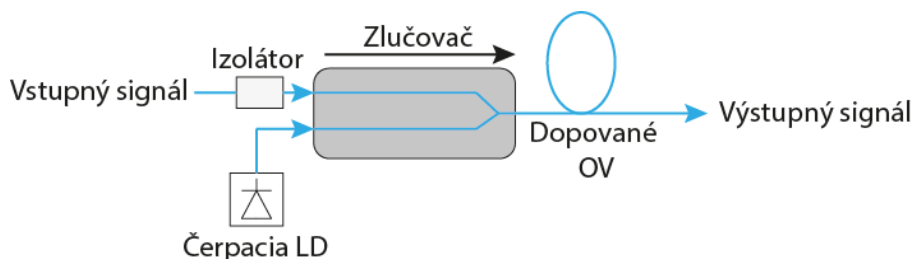
Obr. 1 Konfigurácia EDFA.

EDFA v základnej konfigurácii pozostáva z erbiom dopovaného vlákna (EDF), ktorého dĺžka môže byť 10 - 30 m, zdroja svetla (napr. laser) a z komponentu (napr. WDM), ktorý umožňuje zlučovať informačný signál a optický signál čerpaceho zdroja tak, aby bol možný ich simultánny prenos cez EDF. Optický izolátor potláča oscilácie lasera a tým zabraňuje vzniku spätnej väzby. Na výstupe EDFA je úzkopásmový filter, ktorý zabraňuje spontánnej emisii zosilňovača. Absorpciou fotónov z čerpaceho zdroja svetla do erbiom dopovaného vlákna dochádza k excitácii atómov dopovaného prvku na vyššie energetické hladiny.

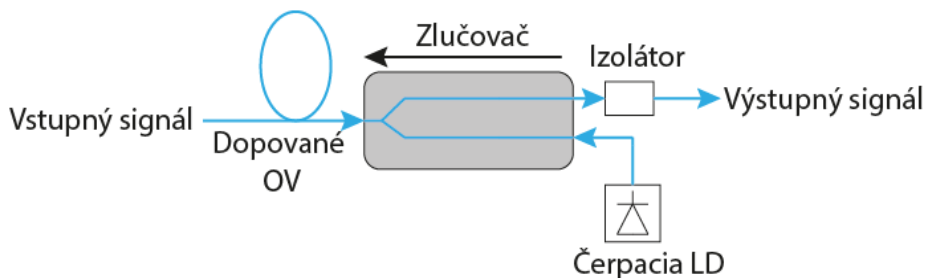
Dôležitým faktorom, ktorý výraznou mierou ovplyvňuje účinnosť EDFA je výber zdroja čerpaceho svetla. V praxi sú používané zdroje svetla, ktoré čerpajú svetlo s vlnovou dĺžkou 980 nm a 1480 nm [6,7]. Použitie čerpaceho zdroja svetla o vlnovej dĺžke 980 nm vedie k vysokým hodnotám zosilnenia a k relatívne nízkym hodnotám šumu. Použitie vlnovej dĺžky 1480 nm zdroja čerpaceho svetla síce vedie k vyšším hodnotám zosilnenia ako pri použití vlnovej dĺžky 980 nm, avšak takýto zdroj svetla vykazuje nižšiu účinnosť a vyšší šum. V praxi je bežné aj použitie súčasne oboch typov čerpacích zdrojov. V prvom stupni zaisťujú čerpací zdroj svetla 980 nm nízky šum a dostatočný zisk [8,9]. Vysoký výstupný výkon sa dosiahne v druhom stupni použitím čerpaceho zdroja svetla s vlnovou dĺžkou 1480 nm. Takýmto spôsobom dosiahneme nízky šum a vysoký výstupný výkon EDFA.

Rozlišujeme 3 konfigurácie zapojenia čerpaceho zdroja:

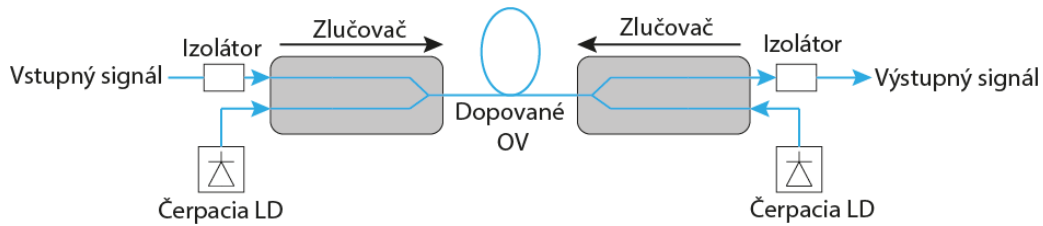
- 1) EDFA s dopredným čerpacím zdrojom (Obr. 2),
- 2) EDFA so spätným čerpacím zdrojom (Obr. 3),
- 3) EDFA s dopredným a spätným čerpacím zdrojom (Obr. 3).



Obr. 2 EDFA s dopredným čerpacím zdrojom.



Obr. 3 EDFA so spätným čerpacím zdrojom.



Obr. 4 EDFA s dopredným a spätným čerpacím zdrojom.

### III. NELINEÁRNY JAV FWM

Nelineárny jav FWM - štvorvlnové zmiešavanie vychádza z Kerrovho efektu. FWM je nutné zohľadňovať hlavne pri návrhu viackanálových DWDM systémov. Podstata štvorvlnového zmiešavania vychádza z predpokladu, že jedným optickým vláknom prenášame viacero vlnových dĺžok svetla. Jav FWM potom zapríčini vznik minimálne jednej novej svetelnej vlny, ktorú nazývame idler. Vlnová dĺžka tejto novej vlny sa však nezhoduje s vlnovými dĺžkami signálov, ktoré boli na optické vlákno naviazané.

Jav FWM nastáva, ak optickým vláknom šírime minimálne tri signály o rôznej vlnovej dĺžke resp. frekvencii. Teda pri šírení troch signálov o frekvencii  $f_i$ ,  $f_j$  a  $f_k$ , vzniká interakcia, pri ktorej sa indukujú nové signály s frekvenciou  $f_{ijk}$ :

$$f_{ijk} = f_i + f_j - f_k \quad (i, j \neq k) \quad (1)$$

Nový signál vygenerovaný javom FWM má vplyv na celkový výkon prenášaného signálu vzhľadom k dĺžke optického vlákna  $P_F(L)$ :

$$P_F(L) = \frac{1024\pi^6}{n^4\lambda^2c^2} (D_X) \cdot \frac{P_i(0)P_j(0)P_k(0)}{A_{eff}^2} e^{-\alpha L} \cdot \frac{(1 - e^{-\alpha L})^2}{\alpha^2} \eta, \quad (2)$$

kde  $P_i$ ,  $P_j$  a  $P_k$  sú výkony signálov naviazaných na optické vlákno s frekvenciami  $f_i$ ,  $f_j$  a  $f_k$ ,  $P_F$  reprezentuje výkon novovzniknutého signálu o frekvencii  $f_{ijk}$ ,  $n$  je index lomu optického vlákna,  $\lambda$  je vlnová dĺžka,  $c=3 \times 10^8$  je rýchlosť svetla vo vákuu,  $A_{eff}$  je koeficient určujúci efektívnu oblasť jadra optického vlákna,  $\alpha$  je stratový koeficient,  $L$  je dĺžka vlákna,  $D$  je degradačný faktor a  $X$  je nelineárna susceptibilita.

Koeficient  $\eta$  predstavuje účinnosť FWM vzhľadom na fázové neprispôsobenie  $\Delta\beta$ :

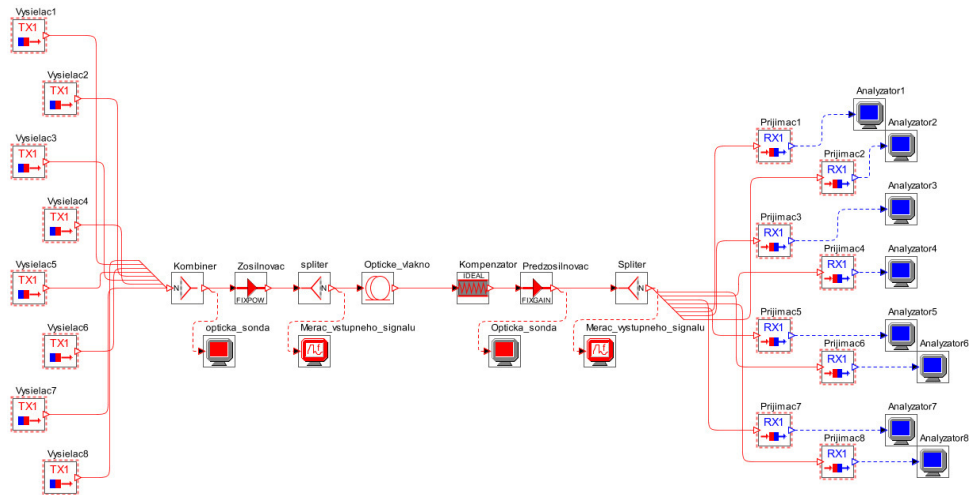
$$\eta = \frac{\alpha^2}{\alpha^2 + (\Delta\beta)^2} \cdot \left[ 1 + \frac{4e^{-\alpha L} \sin^2\left(\Delta\beta \frac{L}{2}\right)}{(1 - \exp(-\alpha L))^2} \right], \quad (3)$$

$$\Delta\beta = \beta(f_i) + \beta(f_j) - \beta(f_k) - \beta(f_F). \quad (4)$$

Koeficient  $\beta$  je konštanta šírenia. Účinnosť  $\eta$  sa pri prenose signálu DWDM systémom znižuje. Maximálna hodnota účinnosti je 1 a  $\Delta\beta = 0$ . Pri prenosoch signálov DWDM systémom sa často používajú optické vlákna s nenulovou disperziou. Dôvodom je fakt, že pre optické vlákna s nulovou disperziou je vplyv FWM kritický. Rovnako ako nelineárne javy SPM a XPM je aj FWM závislý od intenzity vyžarovania. Teda vplyv FWM na kvalitu prenosu sa zvyšuje pri naviazaní čoraz väčšieho výkonu. FWM je degradačný jav, ktorý výraznou mierou obmedzuje realizovateľnosť DWDM systémov. Pre niektoré optické zariadenia však FWM predstavuje akýsi technologický základ. Príkladom môže byť aplikácia, pri ktorej je FWM využité pri meraní nelinearity a chromatickej disperzie v optických vláknach.

### IV. NÁVRH 8-KANÁLOVÉHO DWDM SYSTÉMU PRE OVERENIE JAVU FWM S VYUŽITÍM EDFA

Pre overenie vplyvu FWM na prenos optického signálu bol v prostredí OptSim navrhnutý 8-kanálový DWDM optický komunikačný systém (Obr. 5).



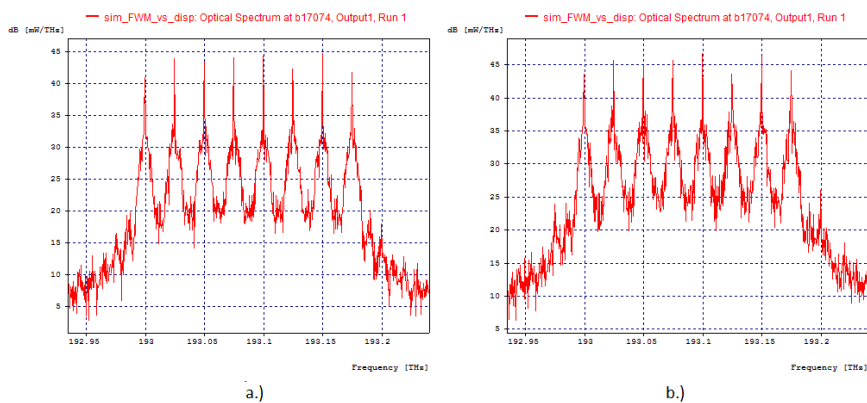
Obr. 5 8-kanálový DWDM systém pre overenie vplyvu FWM.

Vysielacia časť pozostáva zo štyroch blokov. Prvý blok generuje zdrojové dáta ako náhodnú postupnosť bitov s konštantnou prenosovou rýchlosťou 10 Gbps. Ďalej nasleduje blok kódovania zdrojových dát. V tomto prípade boli použité linkové kódy NRZ (non-return-to-zero), RZ (return-to-zero) a Millerov kód, ktoré boli implementované v prostredí Matlab. Ďalším blokom je laser. Vysielaný výkon v každom kanáli je 1mW a RIN dosahuje hodnotu -150dB/Hz. Posledným blokom je optický modulátor, ktorý moduluje vstupné dáta na optickú nosnú. Náš vytvorený model obsahuje elektro-absorpčný optický modulátor – EAM.

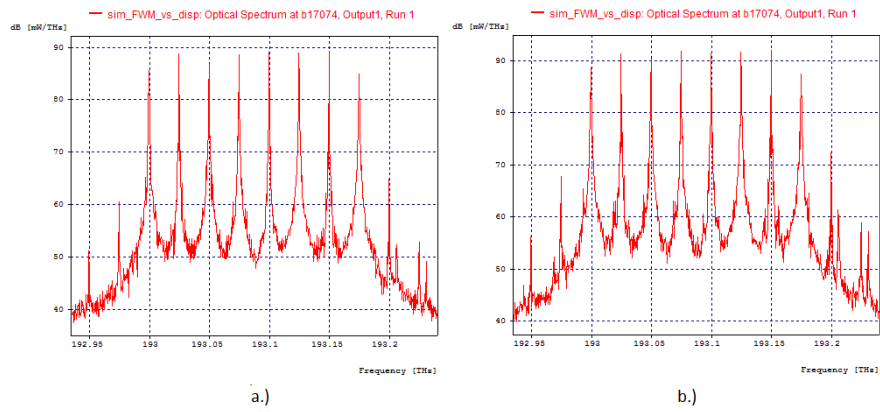
V prípade prenosovej časti navrhnutého DWDM modelu sme vytvorili 3 konfigurácie zapojenia prenosovej časti. V prvom zapojení je optický zosilňovač EDFA zapojený ako predzosilňovač a jeho úlohou je zosilniť optický signál tak, aby bol detekovateľný detektorom prijímača. Druhou možnosťou je zapojenie optického zosilňovača EDFA ako výkonového zosilňovača, ktorý zosilňuje optický signál ešte pred prenosom cez optické vlákno. Treťou možnosťou je zapojenie EDFA na optickej trase – linkový (regeneračný) zosilňovač. V zapojení EDFA ako predzosilňovača a výkonového zosilňovača je dĺžka optického vlákna 100 km a konštantná disperzia -10 ps/nm/km. V linkovom zapojení EDFA je dĺžka optického vlákna 2x50 km a konštantná disperzia -10 ps/nm/km.

Prijímacia časť pozostáva z optického filtra, fotodetektora na báze PIN diódy a z Besselovho elektrického filtra.

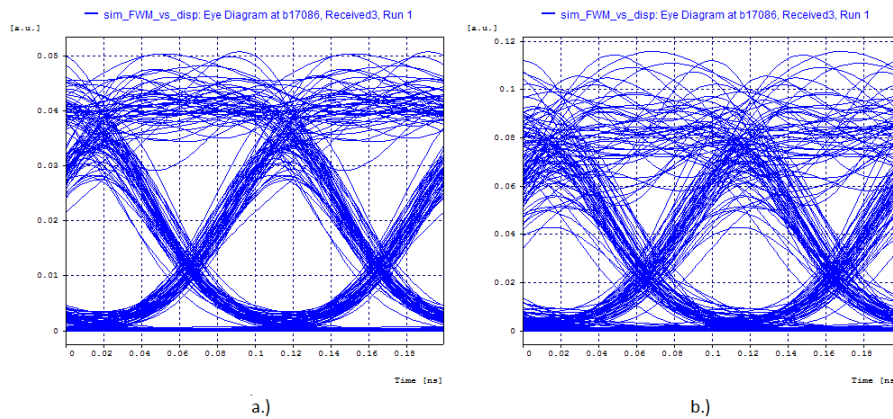
Na Obr.6 a Obr.7 sú zobrazené vybrané priebehy vstupného a výstupného signálu, Obr.8 a Obr.9 zobrazuje im zodpovedajúce diagramy oka. Výsledné hodnoty BER sú v Tab.1 a Tab.3.



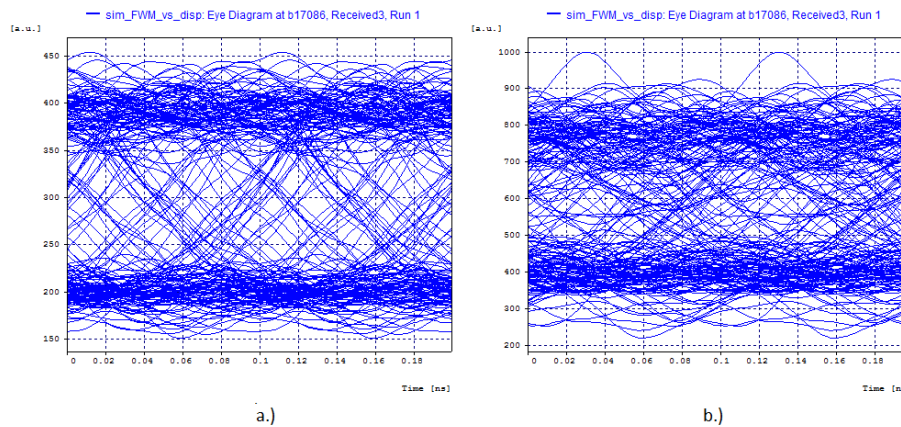
Obr. 6 Priebeh optického signálu na výstupe pri použití NRZ a EDFA v konfigurácii „výkonový zosilňovač“ pri zosilnení a.) 10 dBm, b.) 15 dBm.



Obr. 7 Priebeh optického signálu na výstupe pri použití Millerovho kódu a EDFA v konfigurácii „linkový zosilňovač“ pri zosilnení a.) 10 dBm, b.) 15 dBm.



Obr. 8 Diagramy oka pre NRZ kódovanie a EDFA v zapojení „výkonový zosilňovač“ pri zosilnení a) 10 dBm, b) 15 dBm.



Obr. 9 Diagramy oka pre Millerovo kódovanie a EDFA v zapojení „linkový zosilňovač“ pri zosilnení a) 10 dBm, b) 15 dBm.

Tab. 1  
 Výsledné hodnoty BER pre použitie NRZ a RZ kódovania

Kódovanie	BER					
	NRZ			RZ		
			Typ EDFA			
Zosilnenie (dBm)	Pred	Výkonový	Linkový	Pred	Výkonový	Linkový
10	$1,05 \times 10^{-12}$	$2,67 \times 10^{-11}$	$8,08 \times 10^{-14}$	$2,16 \times 10^{-5}$	$6,54 \times 10^{-4}$	$1,34 \times 10^{-5}$
15	$1,05 \times 10^{-12}$	$6,47 \times 10^{-7}$	$6,48 \times 10^{-13}$	$2,16 \times 10^{-5}$	$1,05 \times 10^{-4}$	$3,72 \times 10^{-4}$
20	$1,05 \times 10^{-12}$	$3,10 \times 10^{-2}$	$1,73 \times 10^{-10}$	$2,16 \times 10^{-5}$	$2,32 \times 10^{-2}$	$7,37 \times 10^{-3}$
25	$1,05 \times 10^{-12}$	$2,28 \times 10^{-2}$	$1,76 \times 10^{-5}$	$2,16 \times 10^{-5}$	$2,28 \times 10^{-2}$	$2,28 \times 10^{-2}$
30	$1,05 \times 10^{-12}$	$2,28 \times 10^{-2}$	$2,28 \times 10^{-2}$	$2,16 \times 10^{-5}$	$2,28 \times 10^{-2}$	$2,28 \times 10^{-2}$

Tab. 2  
Výsledné hodnoty BER pre použitie Millerov kód

BER			
Kódovanie	Miller		
	Typ EDFA		
Zosilnenie (dBm)	Pred	Výkonový	Linkový
10	$3,64 \times 10^{-4}$	$5,73 \times 10^{-4}$	$4,80 \times 10^{-4}$
15	$3,64 \times 10^{-4}$	$4,04 \times 10^{-3}$	$3,42 \times 10^{-3}$
20	$3,64 \times 10^{-4}$	$3,47 \times 10^{-3}$	$3,02 \times 10^{-3}$
25	$2,52 \times 10^{-4}$	$2,28 \times 10^{-2}$	$2,28 \times 10^{-2}$
30	$2,52 \times 10^{-4}$	$2,28 \times 10^{-2}$	$2,28 \times 10^{-2}$

## V. ZÁVER

Prenos signálov cez 8-kanálový DWDM systém bol najkvalitnejší pri použití NRZ kódovania. Kvalita prenášaných signálov sa menila v závislosti od typu použitého optického zosilňovača. Pri použití predzosilňovača EDFA sa kvalita a chybovosť prenosu výrazne nemenila. Naopak použitím výkonového zosilňovača EDFA sa v optickom vlákne indukoval nelineárny jav FWM. Vplyvom FWM sa indukovali nežiaduce signálové zložky, ktoré spôsobujú ťažkosti pri detekcii signálu na prijímacej strane. So zvyšujúcim sa výkonom, naviazaným na optické vlákno sa kvalita prenosu znižovala a chybovosť BER zvyšovala. Linkový zosilňovač vykazoval pri všetkých simuláciách nižšie hodnoty chybovosti BER ako výkonový zosilňovač EDFA.

Výsledky simulácií v programovom prostredí OptSim sa môžu líšiť od výsledkov ekvivalentných reálnych optických systémov. Dôvodom je to, že simulácie v programe OptSim prebiehajú v ideálnom prostredí. Program OptSim predstavuje výbornú možnosť ako overovať funkčnosť reálnych optických systémov.

Výberom a vhodným umiestnením optického zosilňovača EDFA možno regulovať nelineárny jav FWM v optických vláknach. Jeho poloha v optickej trase a veľkosť zosilnenia je dôležitý faktor s ktorým musíme pri návrhu optických sietí počítať.

## POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou (KEGA) Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky na základe projektu č. 023TUKE-4/2017. Táto práca je tiež výsledkom zmluvy č. VEGA 1/0772/17 - Lokalizácia osôb na základe detekcie ich vitálnych funkcií UWB senzormi krátkeho dosahu.

## LITERATÚRA

- [1] P. Ivaniga, J. Smieško, "The relationship between Q - factor and the error rate in optical networks", International Journal of Science Commerce and Humanities, vol. 2, no. 3, 2014, pp. 96-102.
- [2] P. Liptai, M. Moravec, E. Lumnitzer, K. Lukačová, "Impact analysis of the electromagnetic fields of transformer stations close to residential buildings". In: SGEM 2014, vol. 1, 2014, pp. 355-360.
- [3] P. Ivaniga, "Informační sítě P", 1 vyd. Žilina, Žilinská univerzita, 1997, ISBN 80-7100-375-1, 98 pp.
- [4] P. Liptai, M. Moravec, M. Badida, "Analysis and comparison of electromagnetic fields radiated by the selected equipment", In: SGEM 2013, vol. 1, 2013, pp. 17-20.
- [5] E. Mikúš, "LMS systém Moodle", E-learn Žilina 2004, ISBN 80-8070-190-3, 2004, pp. 243-248.
- [6] K. Thyagarajan, A. Ghatak, "Fiber Optics Essentials", ISBN 978-0-470-09742-7, 2007, John Wiley & Sons, Inc. Hoboken New Jersey, 239 pp.
- [7] P. Ivaniga, L. Mikúš, "Measuring of Block Error Rates in High-Speed Digital Networks", Advances in Electrical and Electronic Engineering, vol. 5, 2011, pp. 35-36.
- [8] P. Liptai, M. Moravec, M. Badida, "Research of possibilities of using the recycled materials based on rubber and textiles combined with vermiculite material in the area of noise reduction", Advanced Materials Research, vol. 1001, 2014, pp. 171-176.
- [9] P. Ivaniga, "Hodnocení chybovosti ve vysokorychlostních digitálních sítích", Žilinská univerzita v Žiline, 2007 EDIS – vydavateľstvo ŽU, ISBN 978-80-8070-771-2, 97 pp.

# Overenie ochrannej funkcie CBFP nadprúdovej ochrany SPAJ 140C

<sup>1</sup>Michal ŠPES, <sup>2</sup>Lubomír BEŇA, <sup>3</sup>Michal KOSTEREC, <sup>4</sup>Michal MÁRTON

<sup>1</sup> Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>2</sup> Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>3</sup> Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>4</sup> Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií KEMT, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>1</sup>Michal.Spes@tuke.sk, <sup>2</sup>Lubomir.Bena@tuke.sk, <sup>3</sup> Michal.Kosterec@tuke.sk

<sup>4</sup>Michal.Marton@tuke.sk

**Abstrakt** — Tento príspevok sa zaoberá problematikou digitálnych ochrán. Hlavnou funkciou digitálnych ochrán je správne vyhodnotenie a pôsobenie ochrany pri poruchových stavoch. Daný poruchový stav nemusí byť správne vyhodnotený alebo v prípade poruchy výkonového vypínača nemusí dôjsť ku pôsobeniu digitálnej ochrany. V prípade takéhoto stavu je nutné záložné vypnutie, odpojenie poruchovej časti. Každopádne pre zamedzenie chybných reakcií ochrany je potrebné zabezpečiť pravidelné testovanie týchto prístrojov. V článku sú opísané metódy testovania digitálnych ochrán. V ďalšej časti je opísaná digitálna ochrana SPAJ 140C a samotné testovanie jednej z ochranných funkcií, CBFP, ochrana pri zlyhaní výkonového vypínača.

**Kľúčové slová** — SPAJ 140C, CBFP, CMC 156, testovanie ochrán, overenie činnosti terminálov

## I. ÚVOD

Elektrizačná sústava (ES) predstavuje súbor navzájom prepojených a spolupracujúcich elektroenergetických zariadení pre výrobu, prenos, distribúciu a spotrebu elektrickej energie. Jednou zo zákonitostí, ktorá platí pri prevádzke, je rýchlosť priebehu prechodných dejov. Pre tieto prípady poruchových dejov sa používajú elektrické ochrany, ktoré zamedzia včasnou diagnostikou poruchy odpojenie poruchovej časti prvku elektrizačnej sústavy [1].

Funkciou elektrickej ochrany je vyhodnotenie abnormálneho chodu elektrizačnej sústavy alebo jej časti ako poruchu a následne funkčné a selektívne odpojenie danej poruchovej časti. Keďže sa jedná o dôležité zariadenia elektrizačnej sústavy, sú na nich kladené požiadavky ako spoľahlivosť funkcie elektrickej ochrany, selektivita, rýchlosť pôsobenia ochrany, citlivosť a presnosť [2].

Vzhľadom na nároky, ktoré sú kladené na elektrické ochrany je nutné vykonávať v pravidelných intervaloch testovanie a kontrolu činnosti týchto zariadení [2].

## II. MOŽNOSTI TESTOVANIA ELEKTRICKÝCH OCHRÁN

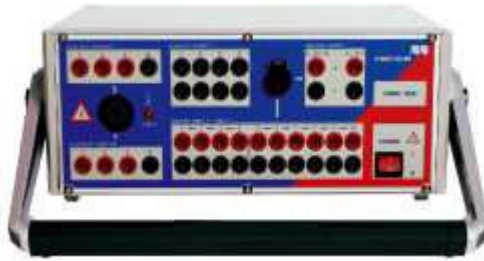
Pre testovanie elektrických ochrán je možné použiť dve metódy testovania. Prvou metódou je priame testovanie elektrických ochrán. Dané testovanie predstavuje overenie činnosti elektrickej ochrany vo funkčnom zapojení s prístrojovými transformátormi, prúdu a napätia [3].

Tento spôsob predstavuje jedno z náročných spôsobov testovania, nakoľko je požadované zabezpečiť na primárnej strane prístrojových transformátorov prevádzkové / poruchové veľkosti prúdov, čo naráža na problém materiálneho zabezpečenia meracích a testovacích prístrojov [3].

Výhodou tejto metódy je overenie správneho zapojenia rozvádzača elektrickej ochrany a jeho súčasti. Druhou variáciou je nepriama metóda testovania, kedy sú do elektrickej ochrany injektované prúdy / napätia až za prístrojovými transformátormi. Týmto spôsobom overujeme správnosť reakcie jednotlivých ochranných funkcií elektrickej ochrany [3]. OMICRON CMC 156



je trojfázové testovacie zariadenie elektrických ochrán, pričom sú zohľadnené vysoké požiadavky pre stupeň presnosti, flexibility testovania a spoľahlivosti. Pre ovládanie testovacieho zariadenia je nutné použiť softvér Test Universe, ktorý disponuje viacerými modulmi testovania (Quick CMC, Overcurrent, Ramping, ...) [3].



Obr. 1 Testovacie zariadenie ochrán CMC 156

### III. TYPY TESTOV

#### A. Testovanie pri preberaní

Uvedené testovanie je vykonávané výrobcom alebo koncovým odberateľom zariadenia pre chránenie vybraných elektroenergetických zariadení.

Na základe testovania pri preberaní je kontrolovaná prijateľnosť danej chrániacej jednotky.

#### B. Testovanie pred uvedením do prevádzky

Týmto testom je zaistená správna funkcia v inštalovanom prostredí. Kontrolujú sa špecifikácie s výkresovou dokumentáciou. Po inštalácii sa kontroluje: správnosť zostavenia komponentov v ochrane, kalibrácia a zhoda s celým systémom [4].

#### C. Pravidelné údržbové testovanie

Po uvedení zariadenia pre ochranu elektroenergetických zariadení sa vykonáva pravidelné údržbové testovanie. Výhodou je včasná detekcia poruchovosti ochrany, resp. ochranného terminálu pred jej zlyhaním v prípade poruchy prevádzky [4].

Na pravidelnosť týchto testov má vplyv viacero faktorov:

- Dôležitosť chrániacej jednotky,
- Frekvencia prevádzky,
- Dostupnosť skúšobných zariadení,
- Prostredie, v ktorom sa ochrana nachádza.

Medzi tieto testy patrí prevádzková skúška, kalibračný test a alarm test [4].

### IV. DIGITÁLNA OCHRANA SPAJ 140C

Táto elektrická ochrana patrí medzi digitálne ochrany. Je to kombinovaná nadprúdová a zemná digitálna ochrana, ktorá je určená na chránenie pri poruchách radiálnych vývodov v účinne uzemnených / odporovo uzemnených alebo impedančne uzemnených elektrických sieťach. Súbor tejto ochrany obsahuje jednotku fázovej nadprúdovej ochrany a jednotku zemnej ochrany pre signalizáciu alebo vypnutie. Z pohľadu použitia je možná jednofázová, dvojfázová alebo trojfázová aplikácia [5].



Obr. 2 Digitálna ochrana SPAJ 140C [5]

Pripojenie ochrany je realizované cez prístrojové transformátory prúdu, pričom výrobca umožňuje aplikáciu so sekundárnou stranou prúdu 1A alebo 5A [5]. Princíp činnosti nadprúdovej alebo zemnej jednotky je v podstate totožný. Pri poruche dochádza k nárastu prevádzkového prúdu v jednej alebo viacerých fázach v závislosti od typu poruchy. Tento poruchový prúd prekročí nastavenú hodnotu prúdu, čím dochádza k aktivácii časového člena ochrany. Ten po odpočte prednastaveného časového oneskorenia dáva pokyn koncovému relé, ktoré zopne kontakty výkonového vypínača a následnému odpojeniu poruchovej časti vedenia.

Táto digitálna ochrana obsahuje nasledovné ochranné funkcie [5]:

- ANSI 51 – Trojfázová nadprúdová ochrana s nižším rozsahom nastavenia a s nezávislou alebo so závislou časovou charakteristikou,
- ANSI 50 – Trojfázová nadprúdová ochrana s vyšším rozsahom nastavenia a okamžitým pôsobením alebo s nezávislou časovou charakteristikou,
- ANSI 51N – Zemná ochrana s nižším rozsahom nastavenia a s nezávislou alebo so závislou časovou charakteristikou,
- ANSI 50N – Zemná ochrana s vyšším rozsahom nastavenia a okamžitým pôsobením alebo s nezávislou časovou charakteristikou,
- ANSI 51BF – Ochrana pri zlyhaní výkonového vypínača.

Výstupné relé A je výkonové vypínacie relé dimenzované pre ovládanie takmer všetkých vypínačov. Vypínacie signály rôznych ochranných stupňov sú priradené k vypínaciemu relé prostredníctvom prepínačov 2., 4., 6. a 8. prepínačovej skupiny SGR1. Prídržnú funkciu je pre výstupné relé A možné navoliť prepínačmi 6. a 7. prepínačovej skupiny SGB. Výstupné relé B a C sa používa pre signalizáciu pôsobenia modulu ochrany. Signály priradené k výstupným relé B a C sú zvolené prepínačmi 1. ...8. prepínačovej skupiny SGR2. Prepínačové matice pre priradenie vypínacích signálov na výstupné relé B a C sú zhodné [5].

Výstupné relé B je obvykle použité na signalizáciu pôsobenia nadprúdovej jednotky a relé C na signalizáciu pôsobenia zemnej jednotky [5].

Popudové signály ochranných stupňov sú priradené k výstupným relé D a sú zvolené prepínačmi 1., 3., 5. a 7. prepínačovej skupiny SGR1, ktorá je ako SW funkcia v hlavnom menu modulu ochrany. Popudové signály nadprúdovej ochrany s nižším a vyšším rozsahom nastavenia sú zvolené prepínačmi 1 a 3 a popudové signály zemnej ochrany s nižším a vyšším rozsahom nastavenia sú navolené prepínačmi 5 a 7 [5].

Výstupné relé E je rovnaké výkonové relé ako je výstupné relé A. Toto relé môže byť ovládané ako popudovými, tak i vypínacími signálmi ochranných stupňov. Výstupné relé E je tiež použité ako vypínacie relé ochrany pri zlyhaní vypínača (CBFP), pokiaľ je táto funkcia v aplikácii použitá. V tomto prípade sa môže vypínací signál použiť na ovládanie nadradeného vypínača, alebo je týmto signálom možné ovládať druhú vypínaciu cievku hlavného vypínača [5].

Relé F je výstupné relé systému samočinnnej kontroly ochrany. V normálnych prevádzkových podmienkach je relé aktivované a svorky 70-72 sú kontaktom relé prepojené. Ak je systémom samočinnnej kontroly zistená porucha, alebo ak dôjde k strate pomocného napájania, výstupné relé odpadá a kontaktom sú prepojené svorky 71-72 [5].

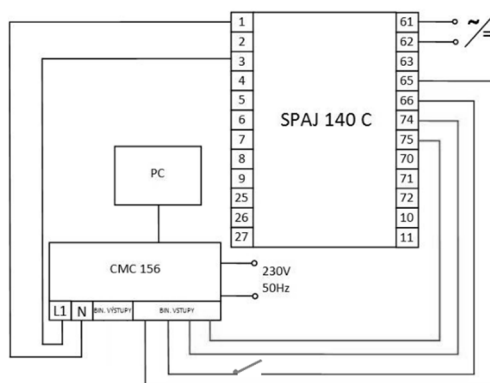
## V. TESTOVANIE OCHRANNEJ FUNKCIE CBFP V MODULE QUICK CMC

Ako už bolo spomenuté v predchádzajúcej časti článku, po prekročení prevádzkových hodnôt prúdu alebo napätia a po vyhodnotení daného stavu ako poruchy, dochádza k aktivácii koncového relé, ktoré zopína kontakty výkonového vypínača. Pre prípad poruchy je ochrana vybavená záložnou cievkou výkonového vypínača. Samotný postup a overenie činnosti ochrannej funkcie CBFP bude spočívať v nasledujúcich krokoch. Ako prvé bolo vykonané zapojenie podľa nasledujúcej schémy (Obrázok 3).

Svorky 1 a 3: Prúdové vstupy ochrany SPAJ 140C,

Svorky 65 a 66: Hlavná cievka výkonového vypínača,

Svorky 74 a 75: Záložná cievka výkonového vypínača.



Obr. 3 Schéma zapojenia pre overenie činnosti ochrannej funkcie CBFP

Overenie činnosti ochrannej funkcie CBFP (ochrany pri zlyhaní výkonového vypínača) budeme vykonávať nasledovne. Ako prvé sa vytvorí stav, kedy bude očakávaná reakcia na daný stav ako poruchu, tzn. pôsobenie digitálnej ochrany SPAJ 140C. Následne je potrebné docieľiť vyblokovanie hlavnej cievky výkonového vypínača. To dosiahneme pomocou vypínača, ktorý umiestnime medzi kontaktom 66 a binárnym vstupom CMC 256.

Ochrana SPAJ 140C umožňuje nastaviť dva nadprúdové vypínacie stupne. Pre náš príspevok sme zvolili nižší stupeň nastavenia (Tab. 1).

Tab. 1 Konfiguračné parametre pre nadprúdovú ochrannú funkciu v nižšom stupni nastavenia

I>	t>	direction	Operating curve type
0,7 A	0,2 s	Non-direction	Definite time

Samozrejmosťou je aktivácia ochrannej funkcie CBFP pomocou prepínačovej skupiny SGF 1/4. Po prevedení správneho zapojenia a nastavenia, môžeme pristúpiť k samotnému testovaniu, ktoré bude pozostávať z dvoch častí. V prvej časti bude vykonané testovanie digitálnej ochrany SPAJ 140C bez blokovania hlavného relé tejto ochrany. V druhej časti prerušením binárneho vstupu medzi ochranou a testovacím zariadením prevedieme samotné testovanie ochrannej funkcie CBFP. V oboch častiach čas reakcie ochrany zaznamenáme a porovnáme.

Pre daný typ testovania si v programe Test Universe zvolíme testovací model Quick CMC. Pre testovanie si určíme 10 testovacích bodov, kde injektujeme pomocou testovacieho zariadenie prúd 1A. Pomocou daného testovacieho modulu bude zaznamenaný čas reakcie ochrany. V druhej časti rozopneme vypínač a v rovnakom testovacom module vykonáme testovanie. Výsledky z testovania sú uvedené v nasledujúcich tabuľkách.

Tab. 2 Prehľad bodov testovania bez aktívnej funkcie CBFP

Typ	Amplitúda	Uhol	Frekvencia	tact
IL1	1 A	0°	50 Hz	0,210 s
IL1	1 A	0°	50 Hz	0,210 s
IL1	1 A	0°	50 Hz	0,211 s
IL1	1 A	0°	50 Hz	0,214 s
IL1	1 A	0°	50 Hz	0,214 s
IL1	1 A	0°	50 Hz	0,214 s
IL1	1 A	0°	50 Hz	0,225 s
IL1	1 A	0°	50 Hz	0,207 s
IL1	1 A	0°	50 Hz	0,212 s
IL1	1 A	0°	50 Hz	0,212 s

Tab. 3 Prehľad bodov testovania s aktívnou funkciou CBFP

Typ	Amplitúda	Uhol	Frekvencia	tact
IL1	1 A	0°	50 Hz	0,407 s
IL1	1 A	0°	50 Hz	0,391 s
IL1	1 A	0°	50 Hz	0,403 s
IL1	1 A	0°	50 Hz	0,410 s
IL1	1 A	0°	50 Hz	0,400 s
IL1	1 A	0°	50 Hz	0,401 s

IL1	1 A	0°	50 Hz	0,413 s
IL1	1 A	0°	50 Hz	0,401 s
IL1	1 A	0°	50 Hz	0,400 s
IL1	1 A	0°	50 Hz	0,398 s

Ako vyplýva z priložených tabuliek, v prípade prvého testovania bol priemerný čas reakcie ochrany na injektovanú hodnotu prúdu 0,2129 s. V prípade, že sme vyblokovali pôsobenie hlavného relé A ochrany SPAJ 140C bol priemerný čas reakcie ochrany po nábehu nadprúdovej ochrannej funkcie v nižšom stupni nastavenia v koordinácii s ochrannou funkciou CBFP 0,4024 s. Nábeh záložného koncového relé E teda predstavuje oproti nábehu hlavného koncového relé A nárast reakčného času o 89%.

#### VI. TESTOVANIE OCHRANNEJ FUNKCIE CBFP V MODULE STATE SEQUENCER

Druhou možnosťou overenia činnosti ochrannej funkcie CBFP je pomocou testovacieho modulu programu *Test Universe* a to *State Sequencer*. Ako prvé boli nastavené vypínacie charakteristiky nadprúdových ochranných funkcií v nižšom a vyššom stupni nastavenia (Tab. 4) (Tab. 5).

Tab. 4 Konfiguračné parametre pre nadprúdovú ochrannú funkciu v nižšom stupni nastavenia

I>	t>	direction	Operating curve type
0,7 A	1 s	Non-direction	Definite time

Tab. 5 Konfiguračné parametre pre nadprúdovú ochrannú funkciu vo vyššom stupni nastavenia

I>>	t>>	direction	Operating curve type
3,3 A	0,2 s	Non-direction	Definite time

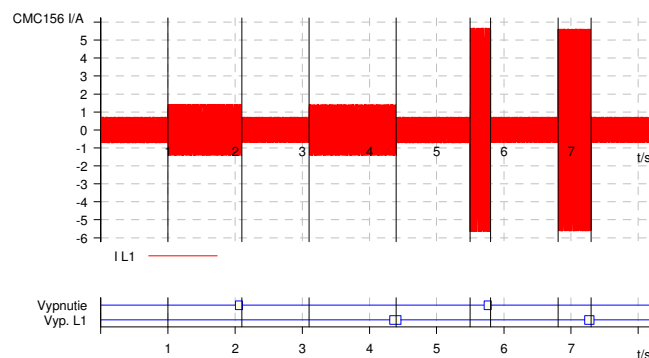
V testovacom module State sequencer bola zostavená nasledujúca frekvencia testovania:

- Normálny stav,  $I = 0,5 \text{ A}$ ,  $t = 1 \text{ s}$ .
- Poruchový stav bez CBFP,  $I = 1 \text{ A}$ ,  $t = 1 \text{ s}$ .
- Normálny stav,  $I = 0,5 \text{ A}$ ,  $t = 1 \text{ s}$ .
- Poruchový stav s CBFP,  $I = 1 \text{ A}$ ,  $t = 1 \text{ s}$ .
- Normálny stav,  $I = 0,5 \text{ A}$ ,  $t = 1 \text{ s}$ .
- Poruchový stav bez CBFP,  $I = 4 \text{ A}$ ,  $t = 0,2 \text{ s}$ .
- Normálny stav,  $I = 0,5 \text{ A}$ ,  $t = 1 \text{ s}$ .
- Poruchový stav s CBFP,  $I = 4 \text{ A}$ ,  $t = 0,2 \text{ s}$ .
- Normálny stav,  $I = 0,5 \text{ A}$ ,  $t = 1 \text{ s}$ .

V prípade normálneho prevádzkového stavu sme zvolili čas 1s. Tento čas bol čas trvania normálneho prevádzkového stavu. Na nasledujúcom obrázku je zobrazený priebeh testovania (Obrázok 4).

V prvej časti je priebeh a veľkosť injektovaného prúdu Omicronom CMC 156 na prúdové vstupy ochrany SPAJ 140C.

V druhej časti obrázka je vyobrazená reakcia ochrany a pôsobenie na daný poruchový stav.



Obr. 4 Priebeh testovania v module State sequencer

Ako vyplýva z priloženého obrázku v čase 0-1 bol testovacím zariadením injektovaný prúd 0,5 A, pričom nedošlo k reakcii ochrany. Po prednastavenom čase testovania 1s došlo k zmene testovania. V druhej časti pri poruche bez účinnosti CBFP došlo k reakcii ochrany SPAJ140C za čas 1,109s, reakcia ochrany bola teda zaznamenaná v čase 2,109s. Tretí stav trval v čase 2,109 až do 3,1s, pričom podľa očakávania, nedošlo k reakcii ochrany. Štvrtá časť testovania bola pri poruche s účinnosťou CBFP. V tomto prípade došlo k pôsobeniu ochrany v nižšom stupni nastavenia s účinnosťou CBFP za čas 1,365 sekundy. Nasledujúce dva poruchové stavy boli prevedené vo vyššom stupni nastavenia. Pre poruchu bez účinnosti CBFP došlo k reakcii ochrany za čas 0,318 sekundy. V prípade poruchy s účinnosťou CBFP došlo k vybaveniu poruchy za čas 0,534 sekundy. Z uvedeného testovania vyplýva, že časové oneskorenie pri poruche na výkonovom vypínači je záložným koncovým relé E vybavené za takmer dvojnásobný vypínací čas.

## VII. ZÁVER

Tento príspevok sa zaoberá problematikou elektrických ochrán, konkrétne nastavením ochrany SPAJ 140C a testovaním vybraných ochranných funkcií. Primárnou úlohou bolo overenie činnosti ochrannej funkcie CBFP, kde sa nastavili nadprúdové ochranné funkcie, t.j. v nižšom a vyššom stupni nastavenia.

Samotná ochranná funkcie pri zlyhaní výkonového vypínača má nezanedbateľnú úlohu. Po ubehnutí časového oneskorenia v stave, kedy porucha naďalej trvá a nie je vybavená ochrannou, je vyslaný signál TS2 na záložné vypínacie relé E. Záložné relé E je možné následne pripojiť k záložnému (nadradený) výkonovému vypínaču. Článok popisuje možnosti testovania činnosti tejto ochrannej funkcie.

## POĎAKOVANIE

Túto vedeckú prácu podporila Vedecká grantová agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied grantom VEGA 1/0132/15

## LITERATÚRA

- [1] M. Kolcun, V. Griger, E. Beňa, J. Rusnák, "Prevádzka elektrizačnej sústavy," Košice, 2007. ISBN 978-80-8073-837-2
- [2] V. Chladný, F. Janíček, A. Belaň, "Digitálne ochrany v elektrizačných sústavách," Košice, 2003. ISBN 80-89061-73-7
- [3] M. Hvizdoš, M. Kmec, "Skúšanie digitálnych ochrán po-mocou testovacieho zariadenia CMC," Košice, 2013. ISBN 978-80-553-1507-2
- [4] A. Apostolov, B. Vandiver, "Scheduled testing of protection relays yes or no?, OMICRON Electron., Los Angeles ISBN:978-1-4244-6073-1.
- [5] ABB, "Over-current and earth-fault relay SPAJ140C," [Online]. <http://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1MRS758396&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

# Impact of ambient conditions to allowable current value of conductor

<sup>1</sup>Michal ŠPES, <sup>2</sup>Lubomír BEŇA, <sup>3</sup>Michal KOSTEREC, <sup>4</sup>Michal MÁRTON

<sup>1</sup> Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>2</sup> Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>3</sup> Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>4</sup> Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií KEMT, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>1</sup>Michal.Spes@tuke.sk, <sup>2</sup>Lubomir.Bena@tuke.sk, <sup>3</sup> Michal.Kosterec@tuke.sk

<sup>4</sup>Michal.Marton@tuke.sk

**Abstract** — This paper described a determining of maximum allowable current value, which is given by a surrounding conditions. Determining maximum allowable current value is main factor in construction of power lines. Exceeding the maximum permissible currents can cause damage, respectively reduced service life of the conductor. This paper deals with powerline ampacity systems, specifically depending ambient conditions on transmission capacity of power line. In this paper is described a method for determining maximal allowable current value for conductor AlFe 350/59, which include the study of all environmental impacts that may affect the maximum allowed current for AlFe 350/59 conductor.

**Keywords** — maximum allowable current, ACSR 350/59, Ambient conditions, power lines

## I. INTRODUCTION

Extensive development of renewable sources requires expansion of transmission capacity of power lines. Despite the fact that power lines are an integral part of the system but their expansion is in seclusion interests [1][2].

For these reasons, it is necessary to seek other means of safeguarding the power transmission system. One possibility is operational methods using which we monitor the temperature of the electrical wire and ambient influences. These indicate the current permissible current [1][2].

To determine the allowable current of the conductor is necessary to determine all factors influencing temperature of the conductor. Subsequent calculation can be determined at any given time under the conditions of maximum load capacity [3].

## II. POWERLINE AMPACITY SYSTEM

Conductor ampacity is defined as the maximum permissible load current, which can transmit the conductor without compromising its function. This distortion is mainly caused by exceeding the maximum permissible temperature [4][5][6].

The maximum current that can be transferred over the line, is not a constant value as yet, but is determined for the unsurpassable temperature conductors depending on ambient conditions - particularly ambient temperature and wind flow [7].

The ampacity depends on:

- Electrical and mechanical properties of the conductor material
- Thermal insulation properties (the cables)
- Ability to dissipate within the conductor generated and received from nearby heat
- Ambient weather conditions [8]

It is therefore apparent that the ampacity is mainly influenced by the thermal condition of the conductors, because it determines the extension conductors and therefore sag power line over the

terrain. In determining the maximum transmission capacity we use a method that is based from thermal equilibrium between the conductors and the environment [9].

At steady state, this equation can be expressed as equality heat gain = heat loss.

The full form of the equation is:

$$P_J + P_M + P_S + P_i = P_C + P_r + P_W \quad (1)$$

Where:

$P_J$  (W) - heat losses in the conductor

$P_M$  (W) - magnetic heating of magnetic field variations AC

$P_S$  (W) - solar radiation

$P_i$  (W) - heating from the corona

$P_C$  (W) - cooling by heat convection – by radiation

$P_r$  (W) - radiant cooling

$P_W$  (W) - cooling from water evaporation

Heating corona  $P_i$ , cooling by evaporation of water  $P_W$  and heating by changing the magnetic field of alternating current  $P_M$  in the equation is usually neglected, from which we get the final equation.

$$P_J + P_S = P_C + P_r \quad (2)$$

The most commonly used conductors are AlFe ropes. Manufacturers of conductors indicated maximum operating temperature of conductor 90 to 100 ° C. In the event of prolonged exceeding this temperature leads to a reduced service life conductors to their embrittlement. Conductor temperature depends on the ambient conditions and the size of passing current [9].

Power lines designed by the current applicable standard EN 50341 are controlled by the designed maximum conductor temperature within the project documentation. Recommended temperature of conductor is 70 ° C. Where it is the highest phase current conductor, it is possible to calculate the actual temperature conductor [10][11].

The calculation is performed for the following conditions [11]:

- The current conductor is the highest loaded
- The ambient temperature is 35 ° C
- Wind speed is 0.5 m / s at 45 ° angle of impact
- Global temperature solar radiation is 1000W / m<sup>2</sup>
- Absorption coefficient is 0.5
- Emissivity coefficient is 0.5

### III. EFFECTS OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS ON THE ACTUAL CURRENT AMPACITY OF POWER LINES

Climatic conditions or the climate is understood as a long-term weather conditions with all the peculiarities that may be in that location and area show. In determining the climate and weather conditions must be based on the geographical location of the area. The Slovak Republic belongs to the northern temperate climatic zone with regular changes of the seasons with the fair distribution of rainfall during the year.

To determine the effects of environmental conditions on the actual permissible current-carrying capacity conductor we will be based on the initial conditions of the standard EN 50 341.

We will then examine the impact of various factors on the maximum permissible current capacity of conductor AlFe 350/59 at its maximum temperature 70 ° C.

Calculation of the maximum allowable current conductor based on the ambient conditions will be carried out according to standard *IEEE 738 – 2012*.

#### A. Heat gain of conductor temperature influence of solar radiation

Solar radiation consists of direct and diffuse radiation incident on a surface. Most affected is by the duration of sunshine and cloud cover. The average annual values of solar radiation in the lowlands are in the range 1200 to 1300 kWh.m<sup>-2</sup>. In the highest position solar radiation is the 1100-1200 kWh.m<sup>-2</sup>. In central mountain ranges, reaching an annual average value of solar radiation 1050-1100 kWh.m<sup>-2</sup>.

For a determining influence of solar radiation to warming of conductor we begin calculate for intensity of solar radiation from 100 W/m<sup>2</sup> to 1000 W/m<sup>2</sup>.

Dependence intensity of solar radiation on the current conductor ampacity is in the following figure (Fig. 1). As is shown on the following picture, the dependence of ampacity is not a large. Current ampacity for AlFe 350/59 conductor by intensity of solar radiation 100 W/m<sup>2</sup> is 790.07

A for one part of a three-beam 400kV power line. At full intensity of solar radiation will decline permissible current capacity of the conductor to 711.31A.

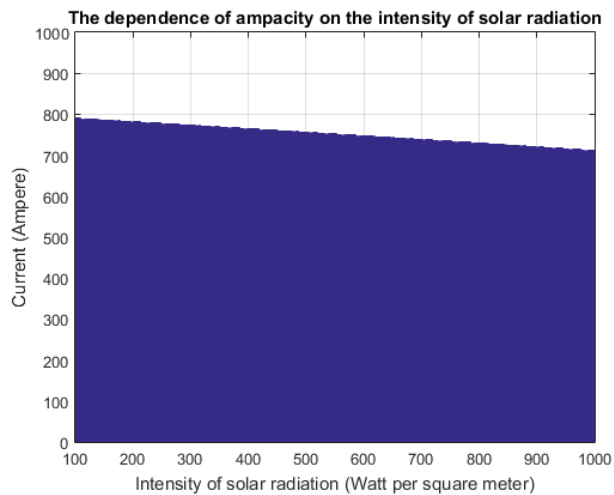


Fig. 1 Dependence of ampacity on the intensity of solar radiation for AlFe 350/59 conductor

*B. Heat loss of conductor temperature influence of heat convection*

Wind conditions of Slovakia are rather complicated. The main impact is the variability of the weather during the year.

In the lowlands of western Slovakia, the average annual speed varies in the range 3-4 m/s. In eastern Slovakia 2-3 m/s. In the lowlands maximum speed exceeds 35 m/s, in the mountains 60 m/s.

To determine the actual current ampacity of conductor AlFe 350/59 under the action of wind, we will investigate the change in air velocity of 1 m/s to 40 m/s with angle of attack wind on the power line 45°.

Results from this calculation are on the following figure (Fig. 2). As we see, current ampacity for AlFe 350/59 conductor in one part of a three-beam is in range of air velocity 1 m/s to 15 m/s more than double greater. Maximum permissible value of current increase from 711.22 A to 1535.79A in range 1 m/s to 15 m/s. In the second the amount of research in range 15 m/s to 40 m/s is growth of dependence of heat convection to ampacity less pronounced. Maximum permissible value of current increase from 1535.79 A to 2099.7 A which represents approximately a third of the increase.

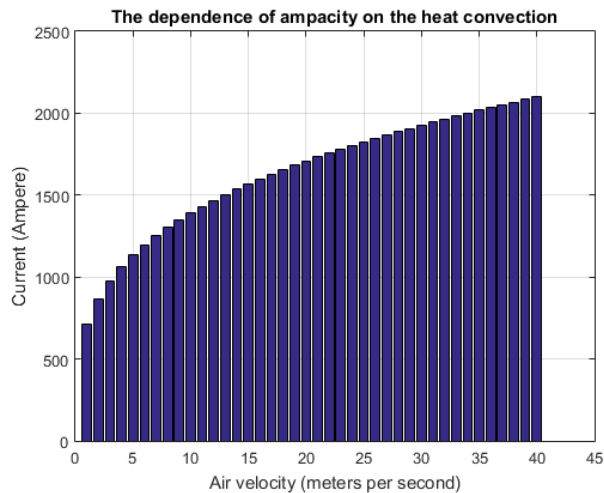


Fig. 2 Dependence of ampacity on the air velocity for AlFe 350/59 conductor

*C. Heat loss of conductor temperature influence of radiant cooling*

The air temperature are among the climatic factors, as well as among the main factors affecting the actual value of the current load conductor.

Based on long-term measurements of air temperature in regions of Slovakia is the warmest area Danubian Lowland with an average air temperature in January -1 to -2 ° C, in the month of July 18 to 21 ° C. annual mean for that area is in the range 9-11 ° C. For a well-ventilated area



decrease to the minimum of 30 ° C, in closed mountain valleys during severe winters air temperature is 40 ° C.

For our study we make two calculation of determining actual value of current.

First determining is for negative value of ambient temperature in range -40 ° C to -1 ° C. Second determining is for positive value of ambient temperature in range 1 ° C to 40 ° C.

Results for the determining permissible value of current based on the ambient temperature are on the following figure (Fig. 3).

As is shown on the following figure (Fig. 4) actual permissible value of current depended on the ambient temperature. In the range -40 to -1 ° C changed the actual permissible value of current from 1330.23 A to 1061.63 A.

Results from the second part of research are given permissible value of current for AlFe 350/59 conductor from 1045.63 A to 645.74 A in the study range 1 ° C to 40 ° C.

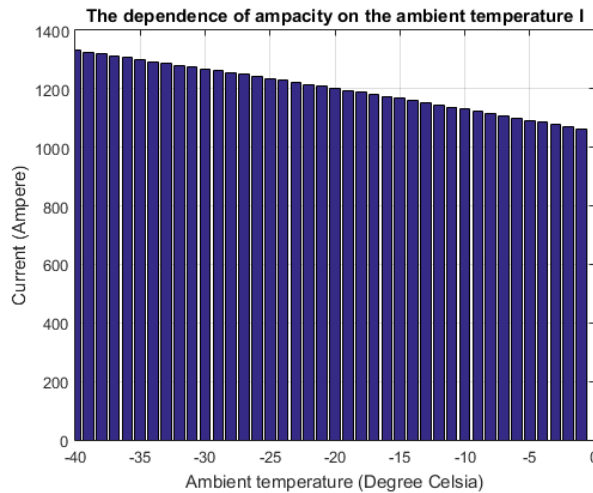


Fig. 3 Dependence of ampacity on the ambient temperature for AlFe 350/59 conductor (part 1)

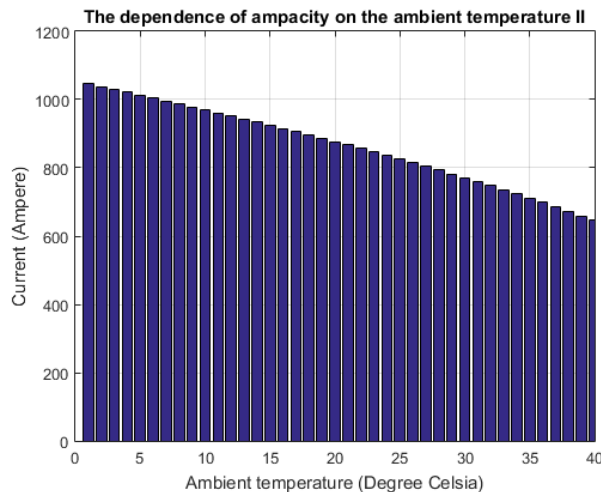


Fig. 4 Dependence of ampacity on the ambient temperature for AlFe 350/59 conductor (part 2)

#### IV. CONCLUSION

This paper describes a method to specifying maximal current value for UHV power lines, specifically for AlFe 350/59 conductor accordance o ambient conditions.

This article describes the different factors that are involved to heat or cooling a conductor. Research up to date, it is clear that factors most involved in determining the maximum permissible load current for a conductor AlFe 350/59.

#### ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic and the Slovak Academy of Sciences under the contract No. VEGA 1/0132/15.

## REFERENCES

- [1] Working Group B2.12, "Guide for selection of weather parameters for bare overhead conductor rating," CIGRE, 2006 IEEE Power Engineering Society, "
- [2] IEEE standard for calculating the current temperature of bare overhead conductors," 2007
- [3] A. Bracale, "Probabilistic index for increasing hourly transmission line rating," in *Int. Journal of Emerging Electric Power Systems*. 2007, pp. 119.
- [4] B.B Carreras, "Evidence for self-organized criticality in a time series of electric power system blackouts," in *IEEE Transaction On Circuits And Systems*, 2004
- [5] J. Heckcembergerova, "Identification of critical aging segments and hotspots of power transmission line," in 9th International Conference of Environmental and Electrical Engineering, Prague, 2010
- [6] P. Musilek, J. Heckcembergerova, M.M. I. Bhuiayn, "Spatial Analysis of Thermal Aging of Overhead Transmission Conductors," in *IEEE Transmission on Power Delivery*, 2012
- [7] T.P. Seppa, "Reliability and real time transmission line rating," in Ridgefield CT USA, 2007
- [8] M. Siler, J. Heckcembergerova, "IEEE Std. 738 Library for calculating the current temperature of conductors," in EPE, Kouty nad Desnou, 2013
- [9] CIGRE Task Force B2.12.3, "Sag-tension Calculation Methods for Overhead Lines." In *Technical Brochure 324*, June 2007. CIGRE Working Group B2.12, "Alternating Current (AC) Resistance of
- [10] Helically Stranded Conductors." In *Technical Brochure 345*, April 2008.
- [11] G. O. Young, "Synthetic structure of industrial plastics (Book style with paper title and editor)," in *Plastics*, 2nd ed. vol. 3, J. Peters, Ed. New York: McGraw-Hill, 1964, pp. 15–64.

# Štúdia pripojiteľnosti elektrárne do siete VN

<sup>1</sup>Michal ŠPES, <sup>2</sup>Lubomír BEŇA, <sup>3</sup>Michal KOSTEREC, <sup>4</sup>Michal MÁRTON

<sup>1</sup> Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>2</sup> Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>3</sup> Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>4</sup> Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií KEMT, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>1</sup>Michal.Spes@tuke.sk, <sup>2</sup>Lubomir.Bena@tuke.sk, <sup>3</sup> Michal.Kosterec@tuke.sk

<sup>4</sup>Michal.Marton@tuke.sk

**Abstrakt** — Nárast podielu výroby elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov elektrickej energie poukázal na problémy týkajúce sa nedostatočnej infraštruktúry pre nasadenie zdrojov decentralizovaného typu. Nasadzovaniu takýchto zdrojov elektrickej energie predchádza posúdenie ich vplyvu na elektrickú sieť. Cieľom tohto článku je štúdia pre posúdenie pripojenia elektrárne decentralizovaného typu do siete VN.

**KLúčové slová** — decentralizované zdroje, PNE 33 3430-0, Zvýšenie napätia, Zmeny napätia vyvolané manipuláciami, Flicker

## I. ÚVOD

Po pripojení Slovenskej elektrizačnej sústavy do spoločnej európskej sústavy ENTSO-E, sa Slovenská republika zaviazala plniť podmienky a pravidlá paralelného chodu. To kladie vysoké požiadavky pre dodržiavanie činiteľov kvality elektrickej energie pri dodržaní stanovených odchýlok sieťovej frekvencie.

Pred pripojením elektrárne do sústavy ES je potrebné vypracovať štúdiu, ktorá zhodnocuje spätné vplyvy nových zdrojov na ES. Pri zriaďovaní elektrárne je nutné zabezpečiť jej schopnosť paralelného chodu tak, aby bolo vylúčené spätné pôsobenie na sieť, t.j. aby po pripojení elektrárne bola zabezpečená stabilita ES.

Pri zriaďovaní elektrárne je potrebné dodržiavať:

- Súčasné platné zákony a úradné predpisy,
- Platné normy STN EN,
- Predpisy prevádzkovateľa sústavy, do ktorej bude výrobňa pripojená,
- Predpisy pre bezpečnosť a ochranu pracovníkov,
- Nariadenia a smernice prevádzkovateľa sústavy.

## II. PRIPOJENIE ZDROJA DO SÚSTAVY VN

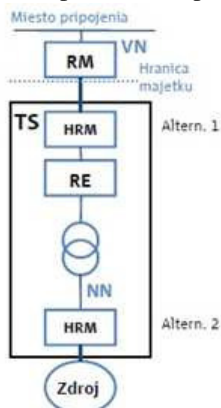
Pripojenie nového zdroja elektrickej energie do sústavy sa realizuje dvoma spôsobmi:

- pripojením zdroja do distribučného vedenia VN,
- pripojením zdroja do VN rozvodne elektrickej stanice VVN/VN [1][2]. Pripojením zdroja do distribučného vedenia VN

Po dohode s PDS (Prevádzkovateľ distribučnej siete) musí prevádzkovateľ zdroja zriadiť na dohodnutom mieste v blízkosti vedenia vlastnú transformátorovú stanicu, ktorá bude pripojená do DS:

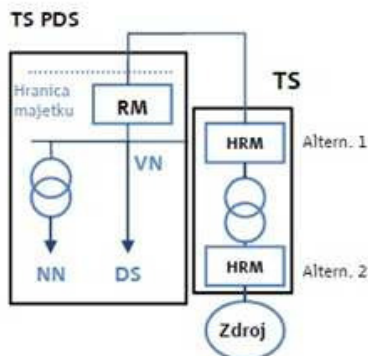
- pomocou VN vzdušného vedenia odbočením od podperného bodu – vonkajšia prípojka T (Obrázok 1), pričom dĺžka prípojky má byť čo najkratšia. Pre odbočenie PDS uprednostňuje použitie zvislý úsekový odpínač v trase existujúceho vedenia VN, ktorý má

funkciu rozpojovacieho miesta RM. Konštrukcia úsekového odpínača musí umožňovať osadenie skratovacej súpravy pre zabezpečenie VN prípojky zdroja [1][2].



Obrázok 1 Pripojenie zdroja elektrickej energie odbočením

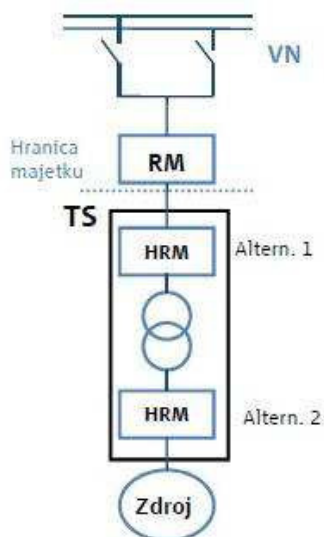
- pomocou VN kábla - uprednostňuje sa pripojenie kábla do voľného VN vývodu v blízkej distribučnej trafostanici (Obrázok 2), ktorá je majetkom PDS alebo pripojenie zaústením kábla do vonkajšieho VN rozvádzača s odpínačom za T-odbočením v majetku PDS, ktorý bude plniť funkciu rozpojovacieho miesta RM zdroja v distribučnej sústave [1][2].



Obrázok 2 Pripojenie zdroja elektrickej energie pomocou VN kábla

#### A. Pripojením zdroja do VN rozvodne elektrickej stanice VVN/VN

Toto pripojenie sa volí v prípade, ak druh a prevádzka zdroja, ako aj sieťové pomery v časti DS podmieňujú vyvedenie výkonu zdroja priamo do VN rozvodne elektrickej stanice VVN/VN (Obrázok 3). Žiadateľ o pripojenie zdroja po dohode s PDS zriadi odovzdávaciu stanicu na dohodnutom mieste, z ktorej zriadi VN vedenie napojené do elektrickej stanice a pripojí ho na existujúce vývodové pole. Spínacie pole pre vyvedenie výkonu sa určí na základe konkrétnych predpokladov existujúcej sústavy. Pre jeden zdroj sa rezervuje jedno pole vo VN rozvodni elektrickej stanice [1][2].

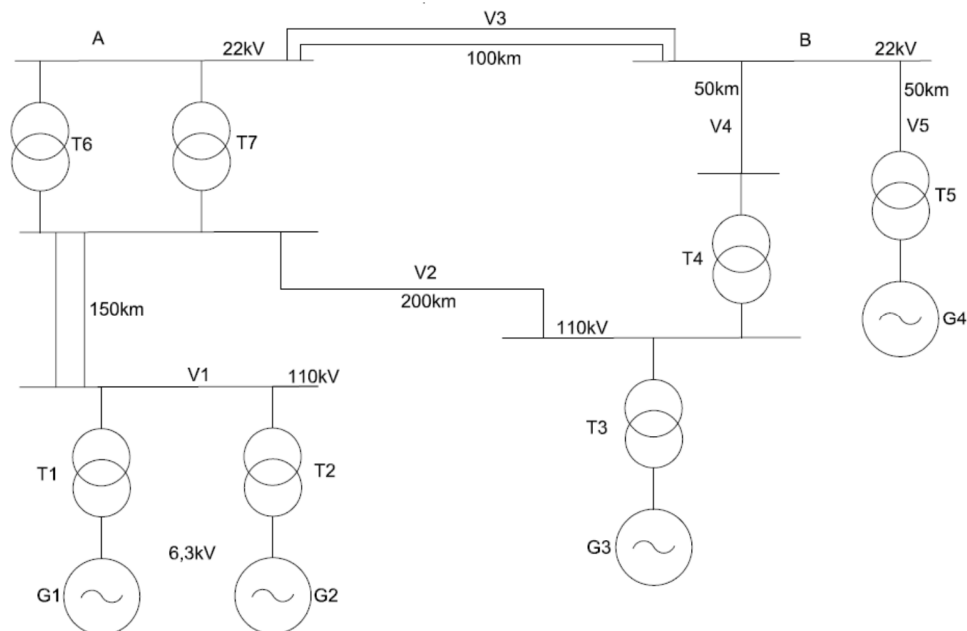


Obrázok 3 Pripojenie zdroja do VN rozvodne elektrickej stanice VVN/VN

### III. DEFINOVANIE RIEŠENEJ ÚLOHY

Posúdenie vplyvu pripojenia budeme realizovať pre nasledujúcu sústavu a jej parametrami pre dve varianty:

- Miesto A – Pripojenie 2 MW elektrárne,
- Miesto B – Pripojenie 1,6 MW elektrárne,



Obrázok 4 Sústava pre pripojenie zdrojov elektrickej energie

Tabuľka 1 Parametre prvkov siete

G1=G2	G3	G4	T1=T2	T3	T4	T5	T6=T7
$S=50\text{MVA}$	$S=25\text{MVA}$	$S=40\text{MVA}$	$S=50\text{MVA}$	$S=25\text{MVA}$	$S=25\text{MVA}$	$S=40\text{MVA}$	$S=25\text{MVA}$
$x_d''=6\%$	$x_d''=8\%$	$x_d''=12\%$	$x_k=6\%$	$x_k=8\%$	$x_k=8\%$	$x_k=6\%$	$x_k=6\%$

Tabuľka 2 Parametre vedení v sústave

$x_{V1}$	0,42 $\Omega/\text{km}$
$x_{V2}$	0,4 $\Omega/\text{km}$
$x_{V3}$	0,35 $\Omega/\text{km}$
$x_{V4}$	0,35 $\Omega/\text{km}$
$x_{V5}$	0,35 $\Omega/\text{km}$

Pre realizáciu tejto štúdie boli vybraté 2 generátory: veterná turbína a dieselgenerátor od firmy Caterpillar. Ako prvý generátor bola použitá veterná turbína pre pripojenie v mieste A. Menovitý výkon tejto veternej turbíny je 2000kW.

Ako druhý generátor bol zvolený dieslový generátor Caterpillar P2000. Tento generátor má menovitý výkon 2000 kVA. Tento generátor je pripojený v mieste B.

Tabuľka 3 Parametre diesel generátora [3]

Menovitý výkon	$P_{NG}$ (kW)	1600
Frekvencia	$f$ (Hz)	50
Napätie	$U$ (V)	400
Účinník	$\cos \Phi_f$	0,8
$x_d''$	-	0,138.pu
$x_d''$	(%)	5

Tabuľka 4 Parametre veternej turbíny[3]

Menovitý výkon $P_{NG}$	$P_{NG} = 2000\text{kW}$
Počet zariadení	1
1-min stredná hodnota	$p_{1min} = 1,05$
10-min stredná hodnota	$p_{10min} = 1,01$
Okamžitá hodnota	$p_{mom} = 1,2$
Okamžité napätie	400V (VTE)
Okamžitý prúd	2887V (VTE)
Činiteľ flikru	$c = 4$
Uhol flikru	$\Phi_f = 11^\circ$
Účinník	$\cos \Phi_f = 1 \gg 1$ (v spoločnom napájacom bode)
Koeficient spínacieho prúdu	$k_{i_s} = 0,5$

Vyvedenie výkonu z týchto dvoch elektrární sa realizuje v oboch prípadoch cez blokový trojfázový olejový hermetizovaný transformátor s výkonom 1600 kVA a 2000 kVA od spoločnosti BEZ transformátory. Technické údaje transformátorov:

Tabuľka 5 Katalógové údaje transformátora s menovitým výkonom 1600kVA[4]

Menovitý výkon	kVA	1600
Typ	TOHN	419/22
Straty naprázdno $C_0$	$P_0$ (W)	1700
Prúd naprázdno	$I_0$ (%)	-
Straty nakrátko $C_K$	$p_{k75}$ (W)	17000
Napätie nakrátko	$u_{k75}$ (%)	6
Hladina hluchu		
Akustický tlak (0,3m)	$L_{pA}$ dB(A)	57
Akustický výkon	$L_{WA}$ dB(A)	66
Hmotnosť	kg	3970

Tabuľka 6 Katalógové údaje transformátora s menovitým výkonom 2000kVA[4]

Menovitý výkon	kVA	2000
Typ	TOHN	429/22
Straty naprázdno $C_0$	$P_0$ (W)	2100
Prúd naprázdno	$I_0$ (%)	-
Straty nakrátko $C_K$	$p_{k75}$ (W)	21000
Napätie nakrátko	$u_{k75}$ (%)	6
Hladina hluchu		
Akustický tlak (0,3m)	$L_{pA}$ dB(A)	59
Akustický výkon	$L_{WA}$ dB(A)	68
Hmotnosť	(kg)	4325

#### IV. POSÚDENIE SPÄTNÝCH VPLYVOV NA SIEŤ VN

Prevádzka výrobných zariadení je povolená, ak sú splnené požiadavky vyplývajúce z normy PNE 33 3430-0. Z hľadiska posúdenia spätných vplyvov na sieť sú rozhodujúce tieto parametre:

- Zvýšenie napätia,
- Zmeny napätia vyvolané manipuláciami,
- Flicker,
- Harmonické,
- Komutačné poklesy,
- Nesymetria napätia,
- Kompenzácia jalového výkonu,
- Spätný vplyv na zariadenia pre prenos signálu po distribučnej sieti (HDO) [5]

V tejto štúdií predpokladáme, že v mieste pripojenia A sa pripojí veterná elektrárň pozostávajúca z 1 turbíny o veľkosti  $P_n = 2$  MW. Napätie na prípojnici A je  $U_n = 22$  kV, minimálny skratový výkon vypočítaný podľa normy STN EN 60909-0 je  $S_{kV} = 254,91$  MVA.

Pre miesto B predpokladáme, že sa pripojí motorgenerátor pozostávajúci z jedného sústrojenstva o veľkosti  $P_n = 1,6$  MW. Napätie na prípojnici B je  $U_n = 22$  kV, minimálny skratový výkon, vypočítaný podľa normy STN EN 60909-0 je  $S_{kV} = 70,89$  MVA.

##### A. Zvýšenie napätia

Celkové relatívne zvýšenie napätia  $\Delta u_{An}$ , spôsobené všetkými do siete prevádzkovanými zdrojmi nesmie v spoločnom napájacom bode, v ktorom sa najviac prejavuje zvýšenie napätia (najnepriaznivejší spoločný bod), prekročiť tieto prípustné hodnoty:

- Sieť NN:  $\Delta u_{An} = 3$  %,
- Sieť VN:  $\Delta u_{An} = 2$  % [5].

Relatívne zvýšenie napätia pre jeden alebo viac zdrojov pripojených v tom istom bode siete môžeme určiť nasledovne:

$$\Delta u_{An} = \frac{S_{rE\max}}{S_{kV}} \cdot \cos(\Psi - \varphi_E) \quad (1)$$

Kde:

$\Delta u_{An}$  je relatívne zvýšenie napätia,

$S_{rE\max}$  je maximálny dodávaný výkon,

$S_{kV}$  je skratový výkon v spoločnom napájacom bode,

$\Psi$  je uhol impedancie siete,

$\varphi_E$  je uhol dodávaného výkonu zdroja (pri max dodávanom výkone).

##### 1) Posúdenie zvýšenia napätia v mieste pripojenia elektrárne A a v mieste pripojenia elektrárne B

Pre posúdenie zvýšenia napätia v mieste pripojenia elektrárne A a v mieste pripojenia elektrárne B vychádzame z 1 minútovej strednej hodnoty zdanlivého výkonu. Relatívne zvýšenie napätia má byť menšie ako medzná hodnota  $\Delta u_{An} = 2$  %. Pre pripojenie elektrárne v mieste A je relatívne zvýšenie napätia rovné  $\Delta u_{An,A} = 0,082$  % a v mieste pripojenia elektrárne B je relatívne zvýšenie napätia rovné  $\Delta u_{An,B} = 1,9089$  %

##### B. Zmeny napätia vyvolané manipuláciami

Pri zmene napätia vyvolaného pripojením alebo odpojením zdroja berieme do úvahy meniče, striedače, synchronne generátory a asynchronne generátory. Pri prepínaní alebo odpínaní zariadení v sieti nesmie veľkosť relatívnej zmeny napätia  $d$  v spoločnom napájacom bode výrobné prekročiť prípustnú hodnotu. Pri zmenách napätia s častým opakovaním  $r < 0,1 \text{ min}^{-1}$  (1 zmena za 10 minút) platí:

- Sieť NN:  $d_{prip} = 3$  %,
- Sieť VN:  $d_{prip} = 2$  % [5].

Pri zmenách napätia so zriedkavým opakovaním  $r < 0,01 \text{ min}^{-1}$  (1 zmena denne) platí:

- Sieť NN:  $d_{prip} = 6$  %,
- Sieť VN:  $d_{prip} = 3$  % [5].

Relatívnu zmenu napätia určíme nasledovne:

$$d_c = \frac{\Delta S_A}{S_{kV}} \cdot \cos(\Psi - \varphi) \quad (2)$$

Kde:

$d_c$  je relatívne zmena napätia

$\Delta S_A$  je zmena zaťaženia

$S_{kV}$  je skratový výkon v spoločnom napájacom bode

$\Psi$  je uhol impedancie siete

$\varphi$  je uhol zmeny zaťaženia

1) *Posúdenie zmeny napätia vyvolané manipuláciami v mieste pripojenia elektrárne A a v mieste pripojenia elektrárne B*

Pri výpočte zmien napätia v mieste pripojenia elektrárne A a v mieste pripojenia elektrárne B predpokladáme uhol rozbehu elektrárne  $\varphi_A = 60^\circ$ . Musí byť dodržaná medzná hodnota  $d_{prip} = 3\%$ . Pre pripojenie elektrárne v mieste A je relatívna zmena napätia rovná  $d_{prip\_A} = 1,4303\%$  a v mieste pripojenia elektrárne B je relatívna zmena napätia rovná  $d_{prip\_B} = 2,0572\%$ .

### C. Flicker

Prípustná hodnota dlhodobého flickra  $P_{fl}$  (2hodiny), ktorý môže produkovať všetky výrobné zariadenia v najnepriaznivejšom napájacom bode siete je  $P_{fl,prip} = 0,46$ . Pre sieť s jedným výrobným zariadením vypočítame prípustnú hodnotu dlhodobého flickra nasledovne:

$$P_{fl} = c \cdot \frac{S_{rE}}{S_{kV}} \cdot |\cos(\Psi - \varphi_f)| \quad (3)$$

Kde:

$P_{fl}$  je hodnota dlhodobého flickra

$c$  je činiteľ flickru zaťaženia,

$S_{rE}$  je menovitý výkon výrobnej jednotky,

$S_{kV}$  je skratový výkon v spoločnom napájacom bode,

$\Psi$  je uhol impedancie siete,

$\varphi_f$  je fázový uhol flickra.

1) *Posúdenie vplyvu pripojenie elektrárne v mieste A na dlhodobú hodnotu flickra*

Vypočítaná hodnota dlhodobého flickra musí byť menšia ako medzná hodnota:  $P_{fl,prip} = 0,46$ . Pre miesto pripojenia elektrárne A je dlhodobá hodnota flickra rovná  $P_{fl} = 0,3038$ .

## V. ZÁVER

Obnoviteľné zdroje elektrickej energie nachádzajú uplatnenie v Elektrizáčnej sústave (ES), pričom ich nasadzovanie prináša komplikácie. Vývoj a konfigurácia ES bola prispôbená centralizovaným zdrojom elektrickej energie, pričom obnoviteľné zdroje predstavujú decentralizované zdroje elektrickej energie, na ktorú ES nebola prispôbená.

Tento článok popisuje štúdiu pripojiteľnosti decentralizovaných zdrojov elektrickej energie a vyhodnotenie hlavných ukazovateľov pre pripojenie.

## POĎAKOVANIE

Túto vedeckú prácu podporila Vedecká grantová agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied grantom VEGA 1/0132/15.

## LITERATÚRA

- [1] VSD, Technické podmienky [online]. [cit. 2017-06-07]. Dostupné na internete: <<https://www.vsds.sk/edso/domov/technicke-info/technicke-podmienky>>
- [2] Technické podmienky prevádzkovania zdrojov elektriny na odbornom mieste. [online]. [cit. 2017-06-07]. Dostupné na internete: <[https://www.sse-d.sk/buxus/docs/dokumenty/o\\_nas/legislativa/Technicke%20podmienky.pdf](https://www.sse-d.sk/buxus/docs/dokumenty/o_nas/legislativa/Technicke%20podmienky.pdf)>
- [3] DIESEL AND GAS GENERATOR, P2000 [online]. FEGWILSON 2016.[ cit. 2017-06-07]. Dostupné na internete: <<http://powerlite.com.au/wp-content/uploads/P2500-1-1.pdf>>
- [4] BEZ, Trojfázové olejové hermetizované transformátory [online]. BEZ 2016.[ cit. 2017-06-07]. Dostupné na internete: <<http://www.bez.sk/subor/105.pdf>>
- [5] PNE 33 3430-0: Výpočetní hodnocení zpětných vlivů odběratelů a zdrojů distribučních soustav.



# Vplyv intenzity slnečného žiarenia na maximálne dovolené prúdové zaťaženie vedení

<sup>1</sup>Michal ŠPES, <sup>2</sup>Lubomír BEŇA, <sup>3</sup>Michal KOSTEREC, <sup>4</sup>Michal MÁRTON

<sup>1</sup> Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>2</sup> Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>3</sup> Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>4</sup> Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií KEMT, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>1</sup>Michal.Spes@tuke.sk, <sup>2</sup>Lubomir.Bena@tuke.sk, <sup>3</sup> Michal.Kosterec@tuke.sk

<sup>4</sup>Michal.Marton@tuke.sk

**Abstract** — Stanovenie maximálnej dovolenej prúdovej hodnoty vonkajších prenosových vedení je jeden z hlavných faktorov pri výstavbe nových vedení. Prekročenie maximálnej dovolenej hodnoty prúdu vedie k poškodeniu, prípadne zníženiu životnosti vodičov vedení. Pre návrh a výstavbu elektrických vedení platí norma EN 50341, ktorá definuje okolité vplyvy pre výpočet maximálnej dovolenej hodnoty prúdu. Tieto klimatické podmienky predstavujú extrém, ktorý sa vyskytuje len zriedkavo. Z uvedenej skutočnosti plynie určitá rezerva pri preťažovaní vonkajších prenosových vedení. Tento článok porovnáva hodnotu prúdu určenú výpočtom pre statické podmienky okolia a pri zmene intenzity slnečného žiarenia.

**Keywords** — elektrizačná sústava, vonkajšie prenosové vedenia, maximálna dovoľená hodnota prúdu, vonkajšie vplyvy, intenzita slnečného žiarenia

## I. ÚVOD

Elektrizačná sústava je tvorená zariadeniami slúžiacimi na výrobu, transformáciu, prenos a distribúciu elektrickej energie. Ako vodiče v prenosovej sústave sa používajú krútené AIFe laná, kde v závislosti od napäťovej hladiny, sú usporiadané samostatne alebo vo zväzku. Pre každé AIFe lano je definovaná maximálne dovoľená hodnota prúdu, ktorý môže tiecť vodičom bez jeho poškodenia [1].

Maximálne dovoľenú hodnotu určujú nasledujúce parametre:

- Elektrické a mechanické vlastnosti vodiča,
- Tepelno-izolačné vlastnosti izolácie vodiča,
- Tepelná kapacita a vodivosť vodiča a schopnosť rozptýliť teplo do okolia [2][3][4].

Pre návrh vonkajších prenosových vedení platí norma EN 50341, ktorá definuje pre výpočet maximálnej dovolenej hodnoty prúdu okolité podmienky:

- Prúd vodiča zodpovedá najvyššej hodnote,
- Okolitá teplota je 35°C,
- Rýchlosť prúdenia vzduchu je 0,5 m/s s uhlom nábehu na vedenia 45°,
- Globálna veľkosť intenzity slnečného žiarenia je 1000 W/m<sup>2</sup>,
- Koeficient absorpcie je 0,5,
- Koeficient emisivity je 0,5 [5].

## II. KONŠTRUKCIA VONKAJŠÍCH PRENOSOVÝCH VEDENÍ NAPĀŤOVEJ HLADINY 400 kV

Z praktického hľadiska sa pre vedenia o napäťovej hladine 400kV používajú zväzkové vodiče, kde jedna fáza je tvorená tromi vodičmi navzájom mechanicky a elektricky spojených v určitých vzdialenostiach, čím dochádza k zväčšeniu polomeru vodiča. Tento zväzok vytvára elektrické pole ako jeden vodič s ekvivalentným polomerom [6].

Ako vodiče ZVN vedení sa používajú hliníkové laná s oceľovou dušou. Ich výhodou je väčšia mechanická pevnosť, čo umožňuje ich použitie aj pre veľké rozpätia. Medzi ich ďalšie výhody patrí vyššia ohybnosť, rovnomernejšia konštrukcia. Pri drôtoch materiálová chyba môže znehodnotiť celý vodič, avšak pri AlFe lanách pretrhnutie jedného drôtu neznehodnotí celý vodič. Ako zemniace vodiče sa taktiež používajú AlFe laná, ktoré môžu byť doplnené o optické vlákno pre zabezpečenie komunikácie automatík a zariadení [6].

Prehľad AlFe lán najviac využívaných v prenosovej sústave je uvedený v nasledujúcej tabuľke:

Tabuľka 1 Parametre AlFe lán [6]

Typ lana	AlFe 445/74	AlFe 450/52	AlFe 680/73
Priemer lana (mm)	29,63	29,31	35,8
Prierez lana (mm <sup>2</sup> )	519,21	500,46	761,69
Menovitá hmotnosť (kg.km <sup>-1</sup> )	1831,81	1667,42	2556,12
Merná tiaž (MN.m <sup>-3</sup> )	0,03460	0,03267	0,03291
Maximálne dovolené namáhanie (MPa)	105,163	91,470	93,072
Modul pružnosti (MPa)	74168	68846	69447
Súčiniteľ teplotnej rozťažnosti (1/°C).10 <sup>-6</sup>	18,67	19,56	19,46
Menovitý jednosmerný odpor (Ω/km)	0,0460	0,0656	0,0433

## III. USTÁLENÁ HODNOTA TEPLoty VODIČA

Maximálna dovolená hodnota prúdu nie je konštantná, je závislá od okolitých podmienok resp. zmeny okolitých podmienok. Maximálna dovolená hodnota prúdu je definovaná ako hodnota prúdu, ktorý môže tiecť vodičom bez jeho poškodenia, narušenia štruktúry a jeho funkcie. K narušeniu funkcie vodiča môže dôjsť v prípade prekročenia maximálnej dovolenej hodnoty teploty vodiča.

Tepelná rovnováha vodiča je určená nasledujúcou rovnicou, kde ľavú časť rovnice tvoria faktory vplývajúce na ohrievanie vodiča a pravú časť tvoria faktory podieľajúce sa na chladení vodiča[7].

$$P_Z + P_S + P_C = C_v \cdot \frac{d\Theta}{dt} + P_k + P_r + P_w \quad (1)$$

Kde:

$P_Z$  [W/m] je otepľovanie vodiča prechodom prúdu

$P_S$  [W/m] je otepľovanie vodiča slnečným žiarením

$P_C$  [W/m] je otepľovanie vodiča korónou

$C_v$  [J/K] je tepelná kapacita vodiča

$d\Theta$  [K] je tepelná rozdiel tekutiny a telesa

$dt$  [s] je časový krok

$P_k$  [W/m] je ochladzovanie vodiča prúdením vzduchu

$P_r$  [W/m] je ochladzovanie vodiča sálaním

$P_w$  [W/m] je ochladzovanie vodiča odparovaním vody[7]

Z predchádzajúcej rovnice je možné po odvodení určiť hodnotu prúdu, pri rešpektovaní vplyvu okolitých podmienok [7]:

$$I = \sqrt{\frac{P_r + P_k - P_S}{R_{ac}}} \quad (2)$$

V prípade výpočtu sa ohrev korónou zanedbáva. K ohrevu vodiča vplyvom koróny ( $P_C$ ) dochádza predovšetkým počas zrážok a vetra, kedy je ochladzovanie vodiča najväčšie. Rovnako je možné zanedbať ochladzovanie odparovaním vody ( $P_w$ ) [7].

#### IV. TEPELNÝ PRÍRASTOK VPLYVOM INTENZITY SLNEČNÉHO ŽIARENIA

Tepelný prírastok vplyvom slnečného žiarenia určíme podľa rovnice (3) a záleží predovšetkým na teplo- výmennej ploche a skutočnosti, že skorodovaný alebo znečistený vodič dokáže absorbovať oproti dokonale čiernemu telesu až 90% sálania oproti novo inštalovaným vodičom, ktorých tepelná absorpcia je okolo 20 až 30% [7].

Tepelný prírastok vplyvom intenzity slnečného žiarenia je možné určiť na základe nasledovnej rovnice [7]:

$$P_S = \varepsilon_a \cdot D \cdot I_S \quad (3)$$

Kde:

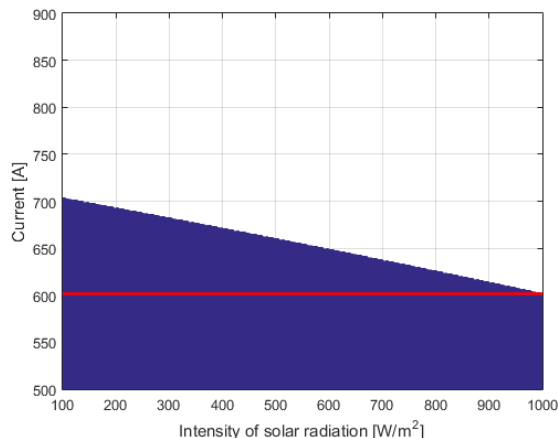
$\varepsilon_a$  [-] koeficient absorpcie žiarenia  
 $D$  [m] priemer vodiča  
 $I_S$  [W/m<sup>2</sup>] intenzita slnečného žiarenia [7]

#### V. DEFINOVANIE ŠTUDOVANEJ PROBLEMATIKY

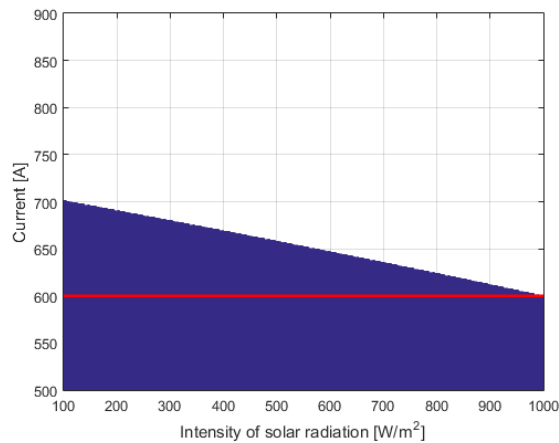
Ako bolo uvedené v predchádzajúcej kapitole, návrh vedení je založený na statických okolitých podmienkach. Z toho vyplýva, že vedenia sú navrhnuté pre najhorší prípad klimatických podmienok. Podmienky okolia sa časom menia. Počas dňa dochádza k zmene teploty okolia, rýchlosti vetra a intenzity slnečného žiarenia. Tieto zmeny sú výraznejšie pri zmene ročných období.

Pre účely tohto článku budeme skúmať vplyv zmeny intenzity slnečného žiarenia zo 100 W/m<sup>2</sup> na 1000 W/m<sup>2</sup> na konečnú hodnotu prúdu pre AlFe vodiče používané v prenosovej sústave v porovnaní s hodnotou prúdu danou výpočtom podľa normy EN 50341 s konštantnými podmienkami okolia. Ostatné okolité podmienky ako teplota okolia, rýchlosť vetra atď. budú konštantne dané normou EN 50341.

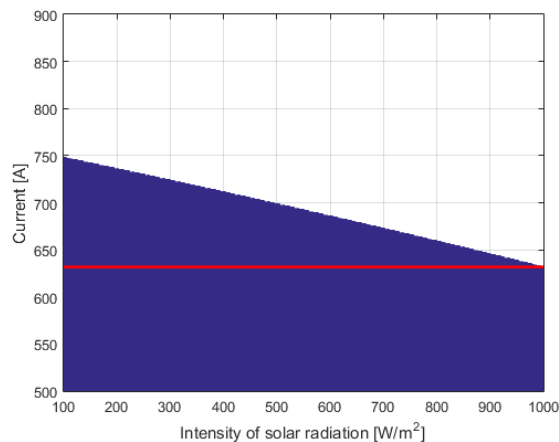
Výsledky výpočtu sú uvedené na nasledujúcich obrázkoch:



Obrázok 1 Porovnanie dovolenej hodnoty prúdu pri zmene intenzity slnečného žiarenia pre vodič AlFe 445/74



Obrázok 2 Porovnanie dovolenej hodnoty prúdu pri zmene intenzity slnečného žiarenia pre AlFe 450/52



Obrázok 3 Porovnanie dovolenej hodnoty prúdu pri zmene intenzity slnečného žiarenia pre vodič AlFe 680/73

Ako je znázornené na obrázku vyššie (Obrázok 1), maximálna prípustná hodnota prúdu pre vodič AlFe 445/74 za konštantných okolitých podmienok je 601,66 A pre jeden vodič vo zväzku.

V rozsahu intenzity slnečného žiarenia 100 W/m<sup>2</sup> až 1000 W/m<sup>2</sup> dochádza k zmene hodnoty maximálnej dovolenej hodnoty prúdu z 703,49 A na 601,66 A. V porovnaní s aktuálnou statickou hodnotou nastáva rozdiel v skúmanom rozsahu intenzity slnečného žiarenia od 16,92% na 0% pre jeden vodič vo zväzku.

Statická hodnota prúdu daná normou EN 50341 pre vodič AlFe 450/52 je 599,98 A (Obrázok 2). Pre zmenu intenzity slnečného žiarenia v skúmanom rozsahu je maximálna dovolená hodnota prúdu v rozsahu od 701,03 A do 599,98 A. Rozdiel medzi hodnotou prúdu daným normou je od 16,84% do 0%.

Pre skúmaný vodič AlFe 680/73 je aktuálna hodnota daná normou rovnou 631,85 A. Pre intenzitu slnečného žiarenia 100 W/m<sup>2</sup> je maximálna hodnota prúdu 748,21 A a so zvýšením intenzity slnečného žiarenia sa znižuje maximálna dovolená hodnota prúdu na hodnotu 631,85 A. Rozdiel pre intenzitu slnečného žiarenia 100 W/m<sup>2</sup> je 18,42% v porovnaní s hodnotou danou výpočtom so statickými okolitými podmienkami.

## VI. ZÁVER

Táto práca sa zaoberá určením maximálnej hodnoty prúdu pre vodiče používané v prenosovom systéme pri napäťovej hladine 400kV. Konštrukcia a návrh elektrických vedení je predmetom normy EN 50341, kde sú opísané okolité podmienky, ktoré vstupujú do výpočtu.

Podmienky okolia nie sú konštantné, sú premenlivé. Na základe tejto skutočnosti je aj maximálna hodnota prúdu premenlivá a pre riadenie elektrizačnej sústavy a elektrických vedení existuje priestor na zvýšenie prenášaného výkonu.

Tento článok popisuje vplyv slnečného žiarenia počas zmeny intenzity slnečného žiarenia na aktuálnu prípustnú hodnotu prúdu pre tri typy vodičov AlFe.

#### POĎAKOVANIE

Túto vedeckú prácu podporila Vedecká grantová agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied grantom VEGA 1/0132/15

#### LITERATÚRA

- [1] Kolcun, M., Griger, V., Beňa, E., Rusnák, J.: The operation of the power system (Prevádzka elektrizačnej sústavy), Košice TU, 2007, ISBN 978-80-8073-837-2.
- [2] Böhm V., Popelka A., Vostracký Z.: Ampacity of overhead lines (Ampacita elektrických vedení), CIRED 2010, Tábor
- [3] E. Lumnitzer, R. Drahoš, P. Liptai, "Elektromagnetické polia v životnom a pracovnom prostredí Objektivizácia a hodnotenie faktorov prostredia," 1. vyd - Košice, Technická univerzita, 2014, 96 s. ISBN 978-80-553-1910-0.
- [4] P. Liptai, M. Moravec, E. Lumnitzer, K. Lukáčová, "Impact analysis of the electromagnetic fields of transformer stations close to residential buildings," In: SGEM 2014, volume 1, p. 17-26, 2014, STEF92 Technology, p. 355-360. ISBN 978-619-7105-17-9.
- [5] ČSN EN 50341-1 ED.2 (333300) Overhead electrical lines exceeding AC 1 kV - Part 1: General requirements - Common specifications (Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 1 kV - Část 1: Obecné požadavky - Společné specifikace)
- [6] Fecko Š., Žiaran, J., Varga, L.: Electricity grids – Outer power lines (Elektrické siete - Vonkajšie silové vedenia). SVŠT Bratislava, 1990.
- [7] IEEE Standard for Calculation the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors, IEEE Std 738-1993

# Možnosti zvyšovania prenosových schopností vonkajších vedení

<sup>1</sup>Michal ŠPES, <sup>2</sup>Lubomír BEŇA, <sup>3</sup>Michal KOSTEREC, <sup>4</sup>Michal MÁRTON

<sup>1</sup> Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>2</sup> Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>3</sup> Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>4</sup> Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií KEMT, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>1</sup>Michal.Spes@tuke.sk, <sup>2</sup>Lubomir.Bena@tuke.sk, <sup>3</sup> Michal.Kosterec@tuke.sk

<sup>4</sup>Michal.Marton@tuke.sk

**Abstract** — Tento príspevok sa zaoberá problematikou elektrizačnej sústavy, konkrétne vonkajšími vedeniami. V nasledujúcich častiach bude popísaná základná teória prenosu elektrickej energie, problematika prenosových schopností a v závere práce budú opísané možnosti zvyšovania prevádzkovej schopnosti vedení s ohľadom na súčasné zvýšenie prevádzkovej bezpečnosti elektrizačnej sústavy.

**Keywords** — Elektrizačná sústava, vonkajšie prenosové vedenia, prúdová zaťažiteľnosť, prevádzková bezpečnosť

## I. ÚVOD

Elektrizačná sústava je definovaná ako súbor navzájom prepojených elektroenergetických zariadení slúžiacich na výrobu, transformáciu a prenos elektrickej energie až po samotnú spotrebu [1].

Prenos elektrickej energie je realizovaný vonkajšími vedeniami, resp. káblovými vedeniami od primárnych alebo sekundárnych zdrojov do nižších napäťových sústav až k samotnému spotrebiteľovi [1].

Väčšina vedení je realizovaná vonkajšími vedeniami, nakoľko sa jedná o lacnejšie riešenie, no ak to situácia nedovoľuje, prenos môže byť realizovaný aj izolovanými vodičmi [2].

V podmienkach Slovenskej republiky máme nasledujúce sústavy a ich napäťové hladiny:

Distribučná sústava:

- Sústava nízkeho napätia: 0,4 kV
- Sústava vysokého napätia: 6kV; 10kV; 22kV; 35kV
- Sústava veľmi vysokého napätia: 110kV

Prenosová sústava:

- Sústava veľmi vysokého napätia: 220kV
- Sústava zvlášť vysokého napätia: 400kV

Z pohľadu prevádzky elektrizačnej sústavy problémy riadenia nastali po masívnom nasadzovaní obnoviteľných zdrojov elektrickej energie. Tento problém sa dotýka predovšetkým Nemecka ako jedného z člena ENTSO-E, do ktorého zoskupenia patrí aj Slovensko.

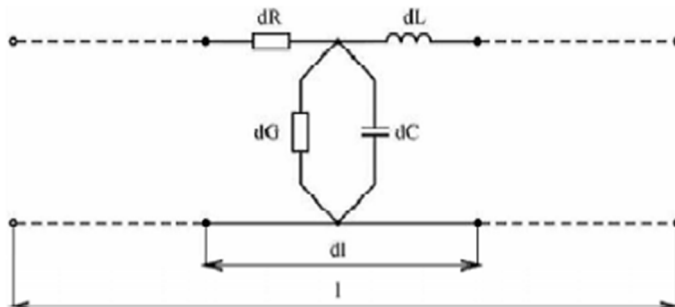
Problém obnoviteľných zdrojov elektrickej energie je ten, že patria medzi decentralizované zdroje elektrickej energie, pričom elektrizačná sústava bola vybudovaná a prispôbená na centralizované zdroje elektrickej energie. Ďalším nedostatkom sú chýbajúce prenosové vedenia, z čoho vyplýva preťažovanie vedení členských štátov ENTSO-E pre zabezpečenie takto vyrobenej elektrickej energie.

Nakoľko je výstavba ďalších vedení časovo a finančne náročná, do úvahy pripadá optimálne a maximálne využitie existujúcich vedení s prihliadnutím na zachovanie prevádzkovej bezpečnosti.

## II. PARAMETRE VEDENÍ

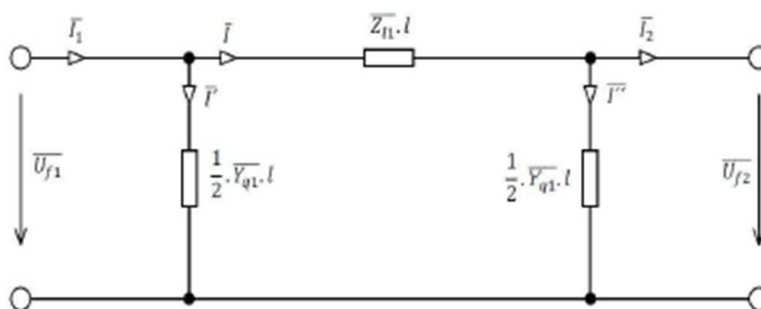
Medzi základné parametre elektrických vedení radíme odpor  $R$ , indukčnosť vedenia  $L$ , kapacita vedenia  $C$  a zvod elektrického vedenia  $G$ . Tieto parametre sú určené na jednotku dĺžky a berieme do úvahy ich rovnomernú rozloženosť pozdĺž celého vedenia [3].

To znamená, že aj menší úsek vedenia dĺžky  $dl$  obsahuje tieto parametre tak, ako je to zobrazené na nasledujúcom obrázku (Obrázok 1).



Obrázok 1 1 Elektrické vedenie s rovnomerne rozloženými parametrami

V praxi je možný dostatočný výpočet pri zjednodušenom náhradnom modeli napríklad pomoc P-článku (Obrázok 2). Tento náhradný článok je vytvorený tak, že pozdĺžna impedancia vedenia je sústredená v jeho strede a priečna admitancia vedenia je rozdelená na polovice s umiestnením na začiatku a na konci vedenia.



Obrázok 2 Zjednodušený model vedenia, P-článok

## III. AMPACITA VONKAJŠÍCH PRENOSOVÝCH VEDENÍ

Ampacita vonkajších prenosových vedení je v literatúre často označovaná aj ako kapacita vonkajších prenosových vedení. Celkovo vyjadruje maximálnu dovolenú prúdovú zaťažiteľnosť vodičov vonkajších vedení pri ktorom nedochádza k porušeniu elektrických a mechanických vlastností vodičov vedenia [5].

Prúd prenášaný vedením nemá konštantnú hodnotu, tzn. jeho veľkosť sa mení v čase a je závislá od veľkosti záťaže, prípadne od manipulácií operátorského dispečerského strediska. Zmenou konfigurácie siete mení dispečer toky výkonov a tým aj veľkosť prenášaných prúdov [6].

Kapacita vonkajších vedení je závislá od:

- Elektrických a mechanických vlastností materiálov vodičov
- Teplotných vlastností izolácie vodičov
- Schopnosti rozptýliť teplo vznikajúce na vodiči
- Okolitých poveternostných podmienok

Z uvedených tvrdení vyplýva, že maximálna dovolená prúdová zaťažiteľnosť vodičov je závislá od tepelného stavu vodičov. Z teoretických znalostí je známe, že v závislosti od tepelného stavu dochádza k zmene priehybu vodičov nad terénom. Tento aspekt je jedným z dôležitých činiteľov pre návrh a výstavbu vonkajších vedení.

Ako už bolo spomenuté v predchádzajúcej časti, teplota vodiča je ovplyvnená viacerými faktormi [6].

Vo veľmi zjednodušenom tvare môžeme jednotlivé činitele vplyvajúce na maximálnu dovolenú prúdovú zaťažiteľnosť vyjadriť ako tepelný nárast = tepelné straty.

Úplný tvar rovnice je nasledovný:

$$P_J + P_M + P_S + P_i = P_C + P_r + P_w \quad (1)$$

Kde:

$P_J$  (W) je nárast teploty vodiča vznikajúci prechodom striedavého prúdu

$P_M$  (W) je magnetické zahrievanie vznikajúce vplyvom zmeny magnetického poľa

$P_S$  (W) je vplyv slnečného žiarenia na tepelný prírastok

$P_i$  (W) je ohrev vodiča vplyvom koróny

$P_C$  (W) je ochladzovanie vyžarovaním tepla do okolia

$P_r$  (W) je radiačné chladenie

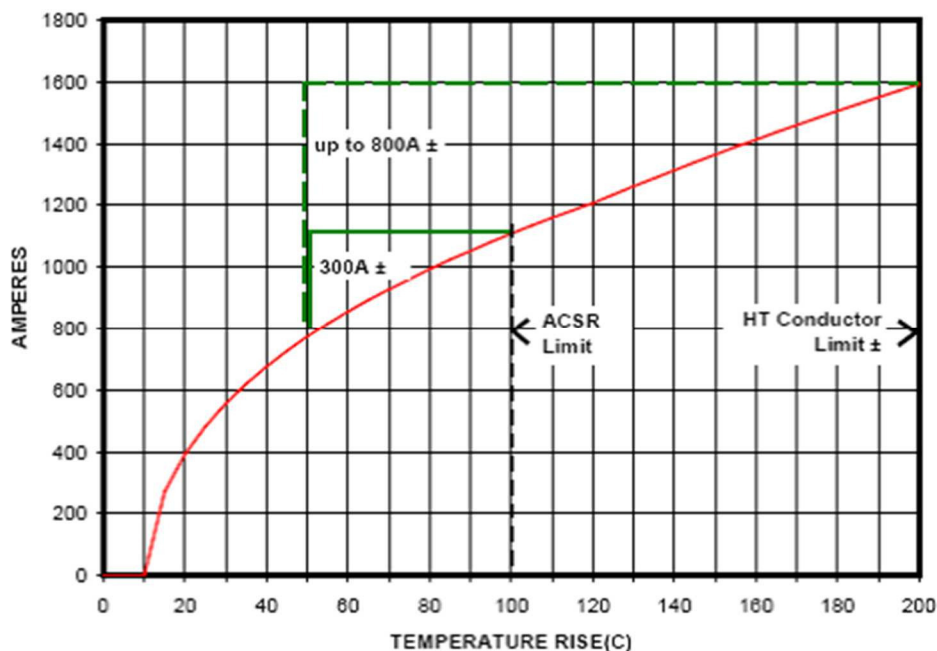
$P_w$  (W) je ochladzovanie vznikajúce odparovaním vody

Uvedená rovnica predstavuje rovnovážny stav pri prechode prúdu vodičom. V prípade, že dôjde k zvýšeniu tepelného prírastku, no úbytok tepla zostane zachovaný, je nutné znížiť veľkosť prenášaného prúdu, keďže by došlo k nárastu teploty nad povolenú hranicu.

Pre opačný prípad, t.j. tepelný úbytok je väčší ako tepelný prírastok dochádza k lepšiemu chladeniu vodiča, a z toho vyplýva rezerva vo zvyšovaní prenášaného výkonu, a teda výslednej veľkosti prúdu.

Pri prechode prúdu vodičom dochádza k zmene priebehu, ktorý je obťažné merať, a preto sa určovanie prúdovej zaťažiteľnosti zameriava na meranie teploty vodiča [7].

Na nasledujúcom obrázku (Obrázok 3) je uvedená závislosť teploty vodiča pri zmene veľkosti prenášaného prúdu. Po skokovom zvýšení prúdu o 300A dochádza ku kvadratickému nárastu teploty vodiča o 50°C, čo znamená dosiahnutie teplotného limitu vodiča v prípade konštantných okolitých podmienok pre ochladzovanie vodiča.



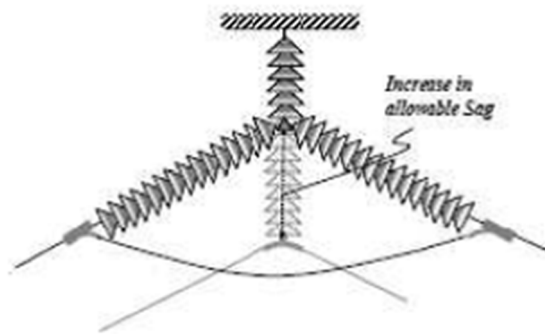
Obrázok 3 Nárast teploty vodiča pri zmene veľkosti prenášaného prúdu [7]

#### IV. MOŽNOSTI ZVYŠOVANIA PRÚDOVEJ ZAŤAŽITEĽNOSTI A PRENOSOVÝCH SCHOPNOSTÍ VEDENÍ

- Metóda závislá na zachovaní vodičov

Táto metóda zvyšovania prúdovej zaťažiteľnosti vodičov spočíva vo zvýšení maximálnej možnej prevádzkovej teploty vodiča až na jeho maximum. Väčšina vedení je navrhnutá na prevádzkovú teplotu 50°C, pričom maximálna prevádzková teplota napríklad ACSR vodičov je 90-100°C. Pri tejto metóde je nutnosť výmeny izolátorov, nakoľko pri zvýšení prúdu dochádza k zväčšeniu priebehu a tým k zmenšeniu vzdialenosti od zeme [8].



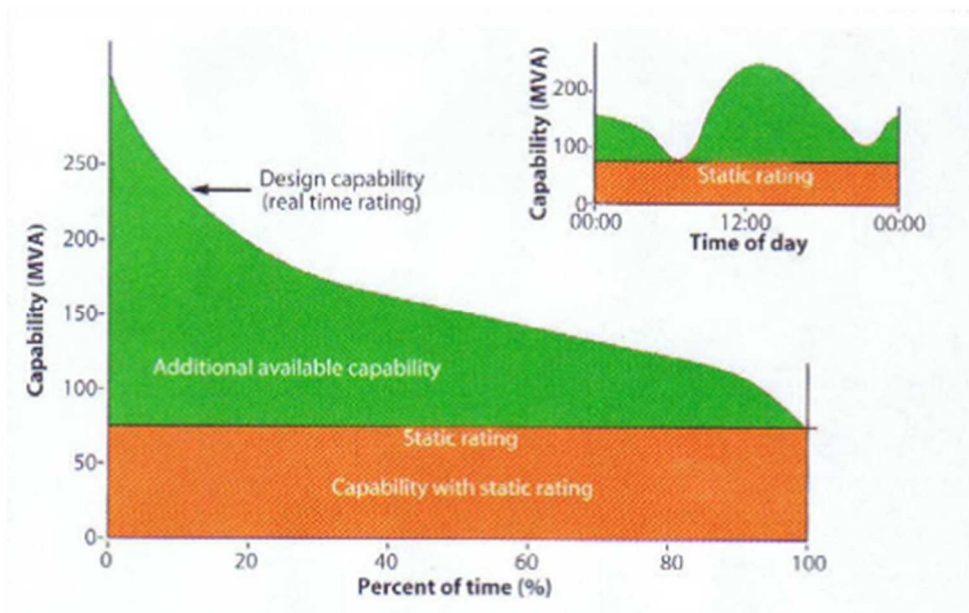


Obrázok 4 Výmena izolátorov pre zväčšenie vzdialenosti medzi vodičom a zemou v mieste maximálneho priehybu [8]

- Operatívne metódy

Táto metóda spočíva v určení okamžitej teploty vodiča a následne využitie až ku skutočným hraniciam, ktoré sa menia v závislosti od podmienok okolia. Do podmienok okolia patrí predovšetkým okolitá teplota a rýchlosť prúdenia vetra.

Dovolená prúdová zaťažiteľnosť sa takto zvyšuje na základe pravdepodobnostných výpočtov [8].



Obrázok 5 Statická charakteristika prúdovej zaťažiteľnosti v čase [8]

- Pravdepodobnostné metódy

Princíp určovania prúdovej zaťažiteľnosti spočíva v aplikácii modelu poveternostných podmienok pre jednotlivé časové obdobia a miesta z pohľadu určenia hraničného zaťaženia [9].

Podľa CIGRE sú uvedené tri pravdepodobnostné metódy:

- a) Metóda prekračovania projektovanej teploty
- b) Určovanie absolútnej pravdepodobnosti vzniku poruchy
- c) Metóda simulácie odhadnutej bezpečnosti [9]

- Monitoring v reálnom čase

Meranie rôznych parametrov vedenia napomáha dispečerovi k určení aktuálnej prúdovej zaťažiteľnosti vedenia a k určení prípadných prúdových rezerv [9].

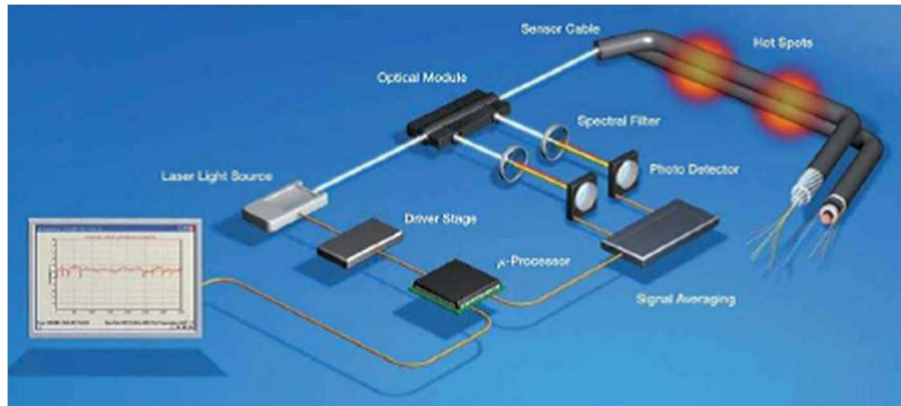
- a) Meranie teploty vodičov

Jednou z metód určenia aktuálneho stavu je meranie teploty vodiča. Pri tejto metóde je teplota meraná priamo na vodiči pomocou meracích systémov (Obrázok 6).

Druhým variantom je vpletenie optického vlákna priamo vo vodiči, pričom je možné vytvoriť "globálny" teplotný profil po celom úseku vedenia (Obrázok 7).



Obrázok 6 RIBE-Ritherm systém[9]

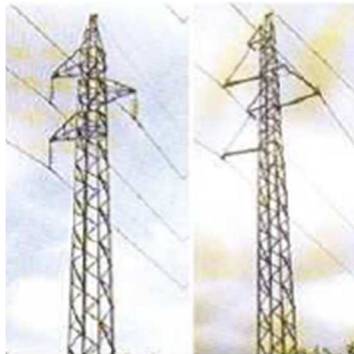


Obrázok 7 Meranie teploty optickým vláknom[9]

- Metódy zvyšovania prenosovej schopnosti vedenia zvýšením napät'ovej hladiny vedenia

Jednou z možností navýšenia prenosovej schopnosti vedenia je zvyšovanie napät'ovej hladiny vedenia. Pri tejto metóde v závislosti od konštrukcie vedenia je možné zvýšiť napätie linky a tak pri rovnakom prenesenom výkone dochádza ku kvadratickému zníženiu strát na vedení.

Táto metóda zahŕňa výmenu všetkých izolačných prvkov, spínacích zariadení a v niektorých prípadoch aj výmenu vodičov vedenia. Jedným z problémov, ktoré vznikajú pri tomto spôsobe je aj bezpečná vzdialenosť vodičov od zeme. Platí pravidlo, čím vyššia napät'ová hladina, tým je nutnosť umiestnenia vodičov vo väčšej výške [9].



Obrázok 8 Zmena napät'ovej hladiny zo 66kV na 220kV [9]

## V. ZÁVER

Tento príspevok sa zaoberá zvyšovaním prenosových schopností vedení a maximálnej prúdovej zaťažiteľnosti vodičov. V článku bola vysvetlená základná teória prenosu elektrickej energie a riešenia pre navýšenie prúdovej zaťažiteľnosti vodičov.

Ako je známe, nároky na spotrebu elektrickej energie stúpajú predovšetkým z dôvodu nasadzovania obnoviteľných zdrojov elektrickej energie. Elektrizácia sústavy bola prispôbená na centralizované zdroje elektrickej energie, pričom obnoviteľné zdroje elektrickej energie spadajú do decentralizovaných zdrojov. Druhý negatívny vplyv je zlá predikcia množstva vyrobenej elektrickej energie. V prípade, že dôjde k zlému odhadu množstva vyrobenej energie, nastáva problém preťažovania vedení a ich následný výpadok, čo môže spôsobiť rozpad sústav. Z uvedených dôvodov je potrebná potreba výstavby nových vedení. Samotná výstavba je časovo aj finančne náročná, ktorá predstavuje investíciu na výrazne dlhšie obdobie.

Z týchto príčin je požiadavka na maximálne využitie existujúcich vedení, prípadne na navýšenie prúdovej zaťažiteľnosti vodičov, z čoho úmerne vyplýva aj navýšenie prevádzkovej bezpečnosti elektrizácie sústavy.

## POĎAKOVANIE

Túto vedeckú prácu podporila Vedecká grantová agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied grantom VEGA 1/0132/15

## LITERATÚRA

- [1] LUMNITZER, Ervin - DRAHOŠ, Richard - LIPTAI, Pavol: Elektromagnetické polia v životnom a pracovnom prostredí Objektivizácia a hodnotenie faktorov prostredia, 1. vyd - Košice, Technická univerzita, 2014, 96 s. ISBN 978-80-553-1910-0.
- [2] LIPTAI, Pavol - MORAVEC, Marek - LUMNITZER, Ervin - LUKÁČOVÁ, Katarína: Impact analysis of the electromagnetic fields of transformer stations close to residential buildings. In: SGEM 2014, volume 1, p. 17-26, 2014, STEF92 Technology, p. 355-360. ISBN 978-619-7105-17-9.
- [3] Working Group B2.12, "Guide for selection of weather parameters for bare overhead conductor rating," CIGRE, 2006
- [4] IEEE Power Engineering Society, "IEEE standard for calculating the current temperature of bare overhead conductors," 2007
- [5] A. Bracale, "Probabilistic index for increasing hourly transmission line rating," in *Int. Journal of Emerging Electric Power Systems*. 2007, pp. 119.
- [6] B.B Carreras, "Evidence for self-organized criticality in a time series of electric power system blackouts," in *IEEE Transaction On Circuits And Systems*, 2004
- [7] J. Heckenbergerova, "Identification of critical aging segments and hotspots of power transmission line," in *9<sup>th</sup> International Conference of Environmental and Electrical Engineering*, Prague, 2010
- [8] P. Musilek, J. Heckenbergerova, M.M. I. Bhuiayn, "Spatial Analysis of Thermal Aging of Overhead Transmission Conductors," in *IEEE Transmission on Power Delivery*, 2012
- [9] T.P. Seppa, "Reliability and real time transmission line rating," in *Ridgefield CT USA*, 2007

# Information System for the Collection and Processing of Flightlogs

<sup>1</sup>Richard FORRAI, <sup>2</sup> Zdeněk HAVLICE, <sup>3</sup> Marián ĎUG

<sup>1,2</sup>Department of Computers and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>3</sup>PWC Avis, s.r.o., Južná trieda 48, 04001 Košice

<sup>1</sup>richard.forrai@student.tuke.sk, <sup>2</sup>zdenek.havlice@tuke.sk, <sup>3</sup>marian.dug@pwcavis.sk

**Abstract** – Maintenance of aircraft is very important to achieve safety in aviation. Time of maintenance depends on the current technical condition of the aircraft, which depends on several attributes. We need to monitor attributes such as time of engine turning on and off, number of landings, arrival and departure aerodromes and flight crew. For other purposes we are collecting time of departure and arrival, day/night values, which are especially useful for pilots. In this paper we design, implement and test smartphone application, that will watch geolocation, acceleration and sound amplitude to automatically detect these events, which are automatically logged to another system, which evaluates technical condition of the aircraft.

**Keywords** – acceleration, aircraft, airworthiness, amplitude, Android, flight logs, geolocation, maintenance, smartphone, sound

## I. INTRODUCTION

To design and implement application [?], that will watch flight parameters, we needed to be acquainted with legislation and laws of aviation. We analyzed existing applications and technologies that can help us design and implement proposed application.

## II. LEGISLATION IN AVIATION

There are laws concerning aviation issued by SR (Slovak Republic) and EU (European Union). Namely it is Act No. 143/1998 Coll. on Civil Aviation (Civil Aviation Act) and on Amendments to Some Acts as amended by later regulations [?], which states that aircraft operator is responsible for maintaining or continuing the airworthiness of the aircraft and its maintenance.

European Commission issued [?] regulation on the continuing airworthiness of aircraft and aeronautical products, parts and appliances, and on the approval of organisations and personnel involved in these tasks. This regulation states that continuing airworthiness means all of the processes ensuring that, at any time in its operating life, the aircraft complies with the airworthiness requirements in force and is in a condition for safe operation. For continuing airworthiness is responsible aircraft owner and operator shall use technical log containing information about each flight, necessary to ensure continued flight safety. The aircraft continuing airworthiness shall be ensured by the accomplishment of pre-flight inspections and other defined tasks.

## III. EXISTING SYSTEMS

There are many systems and applications, that deal with problems and challenges in aviation. We can classify them according to their usage. They can be used offline or online. They can provide different features: weather monitoring and forecast, flight planning, monitoring and logging, navigation, autopilot and aircraft maintenance help.

### A. Weather monitoring and forecast systems

Systems providing current weather information and forecast like AeroWeather[?], which is capable of providing information about current weather, its forecast, sunset, sunrise and moon phases. Also, it's possible to see live videos from aerodromes.

### *B. Flight planning, monitoring and logging systems*

Applications for pilots, where they can plan their flights, monitor and log information about flights. To this category belongs CloudAhoy [?], Garmin G1000 [?], Garmin Pilot [?], Fightradar24 [?] etc.

CloudAhoy [?] is able to monitor GPS coordinates and save them to cloud, where we can see them.

Garmin G1000 [?] is flight deck, which provides information to pilot such as position, current weather, terrain, traffic, flight and engine data. With this flight deck, it's possible to take advantage of autopilot.

Garmin Pilot [?] is mobile application used by pilots to help them with planning, navigation using GPS and flight logging. It tracks date, time, aircraft, arrival and departure aerodromes, landings, remarks, flight conditions and endorsements.

Fightradar24 [?] is web application, which monitors current traffic. To do so, it uses different systems: ADS-B, MLAT, North America Radar Data, Flarm and estimations.

### *C. Navigation systems*

System for navigation in aviation can show different maps, current position or visualize terrain. E.g. Garmin Pilot [?] or Naviator [?]

### *D. Autopilot systems*

System that control aircraft trajectory. Garmin G1000 [?] features autopilot. There are other flight decks with this feature e.g. Sky View [?].

### *E. Aircraft maintenance systems*

Applications that deal with aircraft maintenance. Some of them provide useful guide for crew or some will evaluate technical condition and airworthiness of aircrafts. ForeFlight Checklist Pro [?] provides checklists to perform flight operations. It comes with predefined lists, but it is also possible to customize them.

Avis [?] is a system that evaluates technical condition of aircrafts and creates requirements on material and logistical support to ensure their serviceability and airworthiness.

## IV. DATA COLLECTION AND PROCESSING

To evaluate technical state of aircraft [?] we need to collect some attributes about flight—time of engine turning on and off, arrival and departure aerodromes, number of landings and flight crew. Some data can be useful for pilots like arrival and departure times and day/night values.

To collect data we can use smartphones, which have built-in sensors, that can measure geolocation, orientation, acceleration, sound amplitude etc. Most of today smartphones have these sensors, but not all of them, so we cannot depend on them and therefore users should be able to manually enter these values.

To process data we used algorithm presented by Gong [?], where they are using speed, acceleration and points of interest like bus stops to detect travel mode.

### *A. Time of engine turning on and off*

For engine turning on and off detection, we used sound amplitude. We collect sound amplitude in intervals of 100 ms. Based on this value we can evaluate when engine was turned on and off. If sound amplitude levels are above defined value we can say engine was turned on. When amplitude jumps below this level engine was turned off. This approach is simple, however from testing we found out, that even human voice near the microphone of device can achieve amplitudes as aircraft engine, therefore we need better approach detecting this event.

### *B. Arrival and departure time*

To detect take off and landing time we are analyzing GPS coordinates. Firstly we use speed, which is limited while taxiing. For Viper SD-4 it is 4 km/h. We take into account geolocation of aircraft and vertical acceleration of aircraft. If aircraft exceeds maximum taxiing speed, is positioned near the aerodrome and vertical acceleration is higher for certain amount of time we can say aircraft took off. When speeds drops to maximal taxiing speed we can say aircraft landed.

First approach was to use altitude values, but we found out it's very inaccurate. From our measurements, in which we collected GPS data and compared collected altitudes with altitudes defined in maps, altitudes differed from real one by about 20 to 50 m as can be seen in Fig. 1.

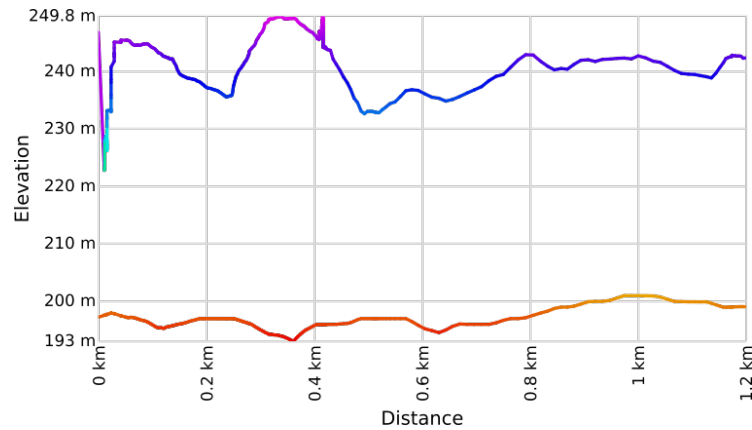


Fig. 1 Bottom curve is elevation from map, top curve is elevation measured by smartphone GPS sensor.

### C. Arrival and departure aerodromes

Collected GPS data can be used to obtain take off and landing aerodromes. We need to check take off and landing times and based on them get geolocation of take off and landing. Comparing distances from these points to known aerodromes we find closest.

### D. Number of landings

As landing we count landing on runway and then continuously taking off without stopping. This maneuver is called touch-and-go landing.

### E. Flight crew

Flight crew is entered manually using user input. User specifies name and surname of crew member and their function. For name and surname is used text input, which automatically suggests names from database.

### F. Day/night

Day and night values are not required for maintenance system, but they are useful for pilots. From definition night is time interval between civil evening twilight a civil morning twilight, or other similar time interval between sunset and sunrise, if designated by Civil Aviation Authority. For purposes of civil aviation of Slovak republic, night is specified as time interval between sunset and sunrise according to local meridian [?].

## V. DESIGN AND IMPLEMENTATION OF INFORMATION SYSTEM

We designed our system as client/server application [?]. The client collects data and sends them to server, which saves them to database. Processing is done on both sides—on client and server, because client needs to work offline.

### A. Server

Server is composed of several services as shown in Fig. 3—API gateway, configuration, registration, authorization service and flightbook service. These services communicate with third party service Avis.

API gateway or proxy, intermediate point between client and other services, routes requests from client to right service.

The configuration service serves configuration to other services. Registration service keeps list of active and healthy services, which can be later requested by other services to get address by name of particular service.

Authorization service is using OAuth2 standard to authorize users. After successful authorization, it responds with JWT token [?], which is used by other services to check authorization of user. Method for authorization is used implicit, where credentials are included in request to authorization service. This service keeps users and their passwords, roles and permission in database.

Flightbook service handles all the business logic. It saves collected data by client, has current list of aerodromes, aircrafts and calculates needed data for Avis.

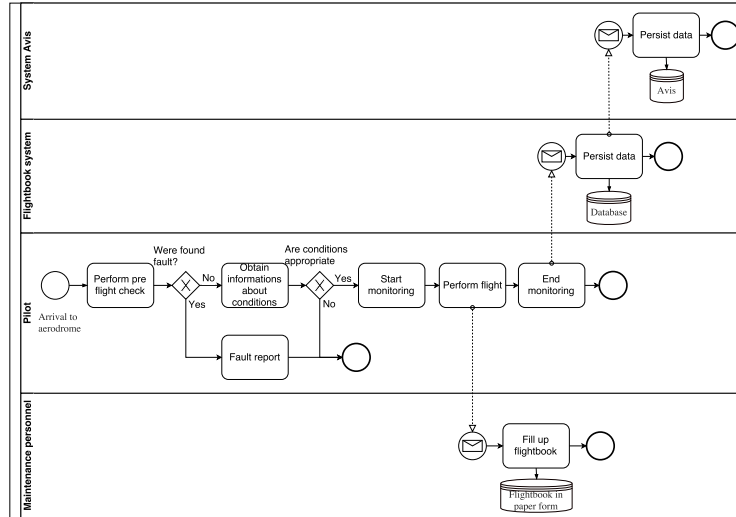


Fig. 2 Flight and logging process we tried to achieve.

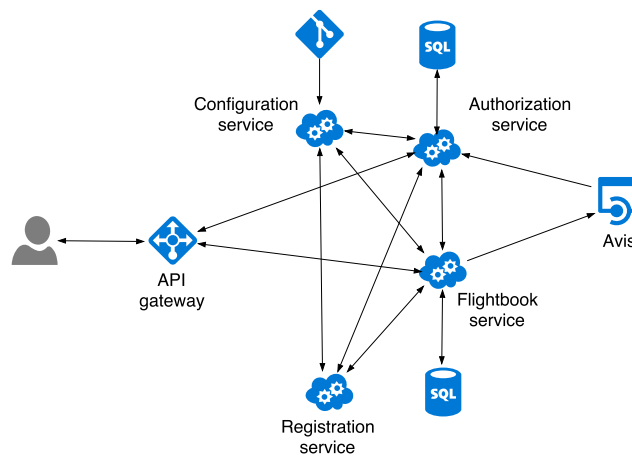


Fig. 3 General architecture of system.

Avis is third party system, which is capable of evaluating technical condition of aircraft and its airworthiness. To do that, it can use data provided by our system. Our system, on the other hand, uses authorization system of Avis, which enables their users use our application.

The whole concept of this application is shown in Fig. 2, where we tried to ease the process of entering the data after the flight. The flightbook in paper form still has to be filled in, because of legislation, but for this, we can copy the values provided by application.

### B. Client

Client is a smartphone application written in JavaScript using React Native [?] library. Client needs to work offline, therefore most of the data has to be accessible offline and most of the processing has to be done on client side. Data like aircraft types, specific aircrafts and aerodromes are cached in SQLite database and are used in selections (aircraft types and aircrafts) or to display arrival or departure aerodromes.

For data collection we are using GPS, acceleration and sound amplitude. GPS and acceleration have their API bridges to native API so there was no problem with implementing this features, but we had to implement sound amplitude API bridge ourselves. Data are saved to SQLite database and when device connects to internet, they are send to server.

The GUI is shown in Fig. 4, where we can see before flight check screen, list of flight screen and monitoring screen. To start monitoring we click on + sign in flight list screen and then select aircraft type and specific aircraft by serial number. Then we are asked to perform before flight check, which can be skipped. Afterwards we need to fill names of members of the crew and then we are taken to monitoring screen. From this moment everything is automated and detected events are shown on the screen. There are four events we detect—engine turning on, take off,

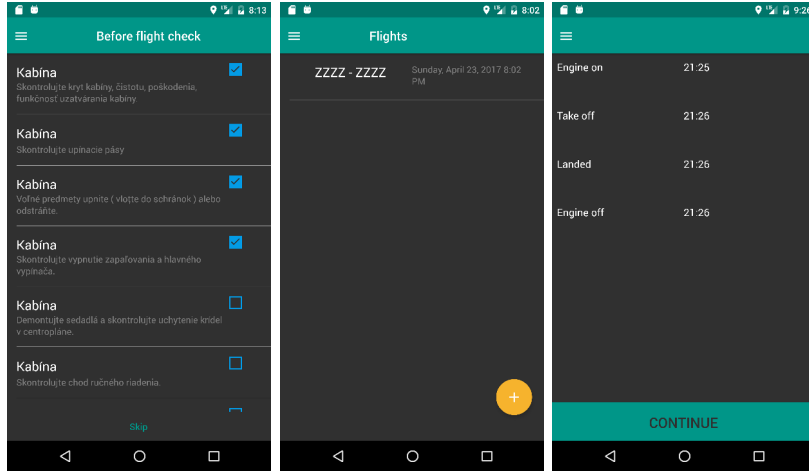


Fig. 4 From left—before flight check, flight list and monitoring screen.

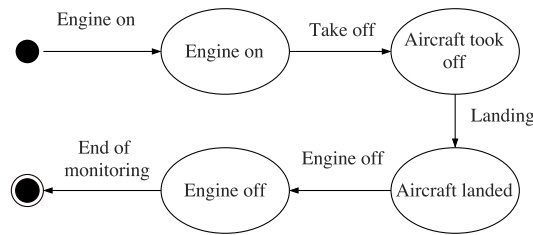


Fig. 5 States of monitoring.

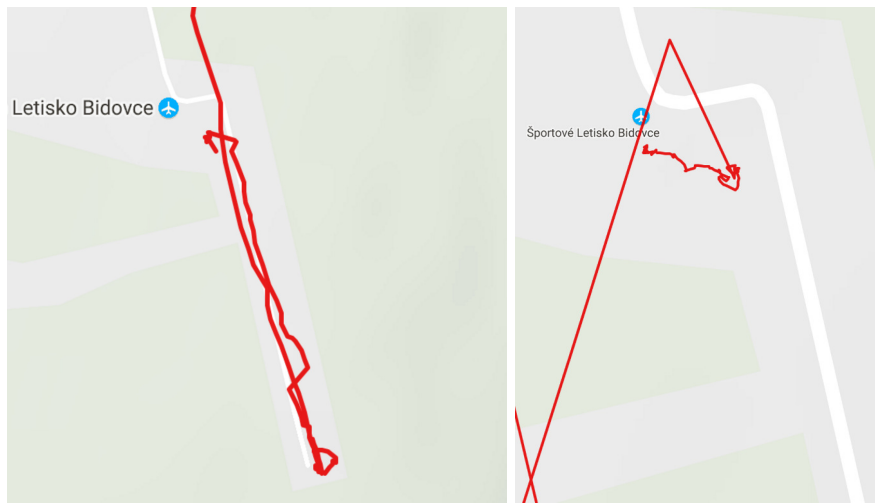


Fig. 6 Route of the flight—on the left take off and on the right landing.

landing and engine turning off in that order as shown in Fig. 5. Detection in detail is described in chapter IV.

## VI. TESTING

To test our application, we made unit and integration tests. Application as a whole was tested in real world. Firstly, we tested application and data collection on land in vehicle. When this testing was successful we proceeded to testing it in the air. Flight was done in aircraft Viper SD-4 [?]. We successfully collected GPS locations, acceleration and amplitude.

GPS position shown in Fig. 6 was little inaccurate, especially at the end of the flight, where we collected very little points, but this was enough for our purposes to find out take off and landing aerodromes.

With detecting turning engine on, application had problems, because of the spike at the beginning shown in Fig. 7. This event was detected incorrectly. The spike was probably caused by



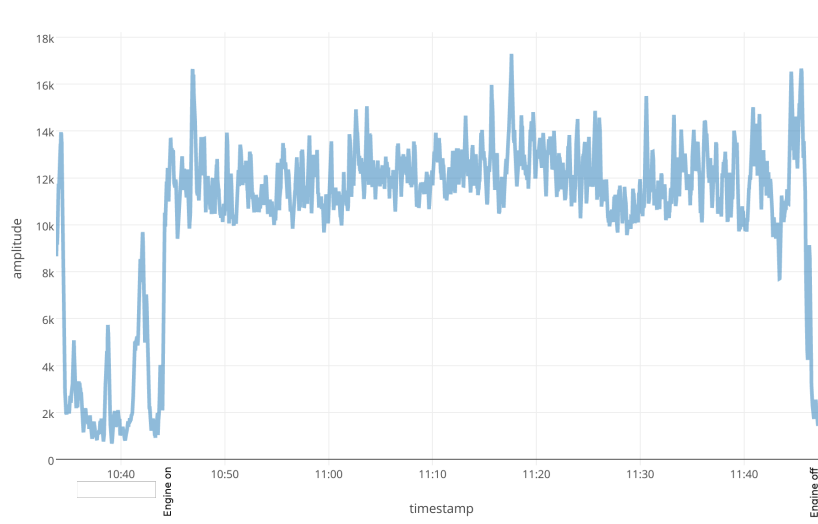


Fig. 7 Recorded amplitude.

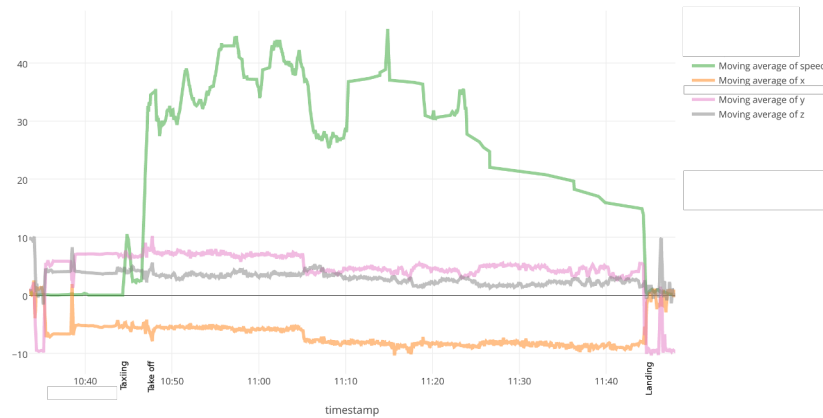


Fig. 8 Recorded acceleration (x - yellow, y - pink, z - grey) and speed (green).

conversation close to microphone. The engine turning off was detected successfully.

From GPS data we calculated speed, which is shown in Fig. 8, which is in m/s. We can clearly see taxiing with maximal speed of 10 m/s (36 km/h), take off and landing.

Acceleration 8 was also collected. In the graph we can see change when taking off.

The user experience testing was done on two people. We found out, that flight list screen is bit confusing, because in both cases, subjects has problem creating new flight, but in the end, they've done it successfully. In monitoring screen we needed to add info about automatic detection of events, because users didn't know about this feature, therefore they automatically assumed, they have to click on ENGINE ON button to start monitoring. Then we added info, like time, about detected events, as can be seen in Fig. 4.

## VII. CONCLUSION

Purpose of this paper was to design and implement application to help owners maintain airworthiness of aircrafts. We used smartphones built-in sensors to detect certain events needed to evaluate technical condition of aircraft. Application was implemented for Android devices using JavaScript and React Native. Server side was implemented using Java and Spring framework. To save data we used PostgreSQL database.

We successfully tested our application and found out, that with sound amplitude isn't easy to detect engine turning on. For this we may need to implement more complex approach. Detection of aerodromes worked as expected from GPS location. Same for take off and landing, where we used acceleration and speed.

Application after data collection sent data to server, which processed and sent them to Avis.

#### ACKNOWLEDGMENT



This work is the result of the project implementation: IT4KT - Information technology for knowledge transfer (ITMS project code: 26220220123) supported by the Research & Development Operational Program funded by the ERDF.

#### REFERENCIES

- [1] R. Forrai, "Information system for the collection and processing of flightlogs," Master's thesis, Technical University of Košice, Slovak Republic, 2017.
- [2] "Act No. 143/1998 Coll. on Civil Aviation (Civil Aviation Act) and on Amendments to Some Acts as amended by later regulations."
- [3] "European Commission: Commission Regulation (EC) No 2042/2003 of 20 November 2003 on the continuing airworthiness of aircraft and aeronautical products, parts and appliances, and on the approval of organizations and personnel involved in these tasks. CELEX: 02003R2042-20120801."
- [4] Lakehorn AG, "AeroWeather," 2016, 2016-10-30. [Online]. Available: <http://www.lakehorn.com/products/aeroweather-pro/>
- [5] "CloudAhoy," 2016, 2016-10-03. [Online]. Available: <https://www.cloudahoy.com/>
- [6] Garmin Ltd., "Garmin G1000," 2016, 2016-10-30. [Online]. Available: <https://buy.garmin.com/en-US/US/in-the-air/general-aviation/flight-decks/g1000-prod6420.html>
- [7] Garmin Ltd., "Garmin Pilot," 2017, 2017-03-12. [Online]. Available: <https://buy.garmin.com/en-US/US/p/115856/pn/010-000GP-AP#>
- [8] "flightradar24," 2016, 2016-10-03. [Online]. Available: <https://www.flightradar24.com/>
- [9] 123west Software Inc., "Naviator," 2016, 2016-10-30. [Online]. Available: <http://www.naviatorapp.com/>
- [10] Dynon Avionics, "SkyView," 2016, 2016-10-30. [Online]. Available: [http://dynonavionics.com/docs/SkyView\\_intro.html](http://dynonavionics.com/docs/SkyView_intro.html)
- [11] "Foreflight Checklist," 2016-10-30. [Online]. Available: <https://checklist.foreflight.com/>
- [12] PWC Avis, "Avis," 2017-04-15. [Online]. Available: <https://www.pwcavis.sk/en/avis-about/about-avis>
- [13] Hongmian Gong, Cynthia Chen, et al., "A gps/gis method for travel mode detection in New York city," Computers Environment and Urban Systems, p. 131139, 2012.
- [14] "Ministerstvo dopravy, pôšt a telekomunikácií Slovenskej republiky: Legislatíva v oblasti civilného letectva: Predpis L6 Prevádzka lietadiel - II. časť Všeobecné letectvo - letúny. ISBN 978-80-89297-00-9."
- [15] Internet Engineering Task Force, "Json web token (jwt)," 2015, 2017-03-31. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc7519>
- [16] Facebook Inc., "React native," 2017, 2017-01-29. [Online]. Available: <https://facebook.github.io/react-native/>
- [17] TOMARK AERO, "VIPER SD4," 2017, 2016-04-20. [Online]. Available: <http://vipersd4.com/viper-sd4/technical-specification/>

# Model plne optických sietí: Multiplexor/Demultiplexor AddDrop

<sup>1</sup>Ján TURÁN, <sup>2</sup>Luboš OVSEŇÍK, <sup>3</sup>Dávid SOLUS, <sup>4</sup>Jozef FABINI

<sup>1,2,3,4</sup>Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>jan.turan@tuke.sk, <sup>2</sup>lubos.ovsenik@tuke.sk, <sup>3</sup>david.solus@tuke.sk,  
<sup>4</sup>jozef.fabini@student.tuke.sk

**Abstrakt** — Cieľom tohto článku je popis nelineárnych javov typu SRS (Stimulated Raman Scattering - stimulovaný Brillouinov rozptyl) a SBS (Stimulated Brillouin Scattering - stimulovaný Ramanov rozptyl), ktoré sa vyskytujú v plne optických komunikačných systémoch. V súčasnosti nie je možné vytvoriť WDM (Wavelength Division Multiplex - vlnovo delený multiplex) systém bez softwarových nástrojov, ktoré by umožňovali navrhnuť reálny systém pri daných podmienkach. Medzi najdôležitejšie komponenty systémov WDM patrí AddDrop Multiplexor/Demultiplexor.

**Kľúčové slová** — AddDrop, demultiplexor, multiplexor, OptSim, SBS, SRS

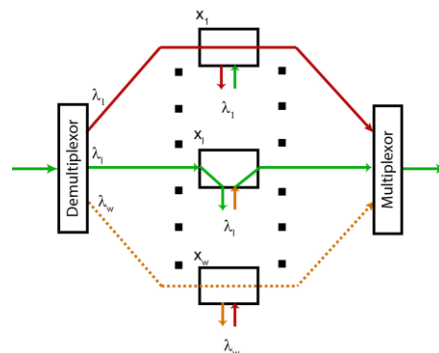
## I. ÚVOD

Môžeme povedať, že v dnešnej dobe sa internetom riadi takmer všetko (tzv. internet vecí). Či hovoríme o IoT, o technológii Li-Fi, čo je technológia kde získavame pripojenie priamo zo svetla, napríklad v domácnosti alebo mnohých iných. Keďže na tieto technológie je potrebná vyššia prenosová rýchlosť, optická sieť sa začala využívať aj na miestach, kde doteraz nebola prístupná. Zvýšenie počtu pripojených používateľov a zvýšené požiadavky na šírku pásma spôsobilo, že samotné optické káble nie sú postačujúce.

Avšak existuje technológia multiplexovania, ktorá dokáže tento problém vyriešiť. Fenoménom v tejto oblasti sú systémy WDM, konkrétne DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing - husto delený vlnový multiplex) a CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing - riedko delený vlnový multiplex). Ani tieto systémy však nemusia pracovať dokonale, nakoľko spoľahlivý prenos pomocou WDM systémov môže byť narušený či už lineárnymi alebo nelineárnymi javmi. Použitím kombinácií rôznych modulácií a kódovaní vieme tieto nežiaduce javy ovplyvňovať. Vhodnou kombináciou a správnym nastavením nosných parametrov pri SRS a SBS, dokážeme nelineárne javy čiastočne eliminovať a dosiahnuť lepšie výsledky. Okrem ich negatívneho vplyvu majú nelineárne efekty aj pozitívnu funkciu. Ich výskyt zohráva veľkú úlohu napr. pri zosilňovačoch [1,2].

## II. AddDrop MUX/DEMUX

Schéma optického AddDrop multiplexora/demultiplexora, ktorá je zobrazená na Obr. 1 je zložená z nasledujúcich častí: demultiplexor, sada 2x2 prepínačov, prepínač pre jednu vlnovú dĺžku a multiplexor.



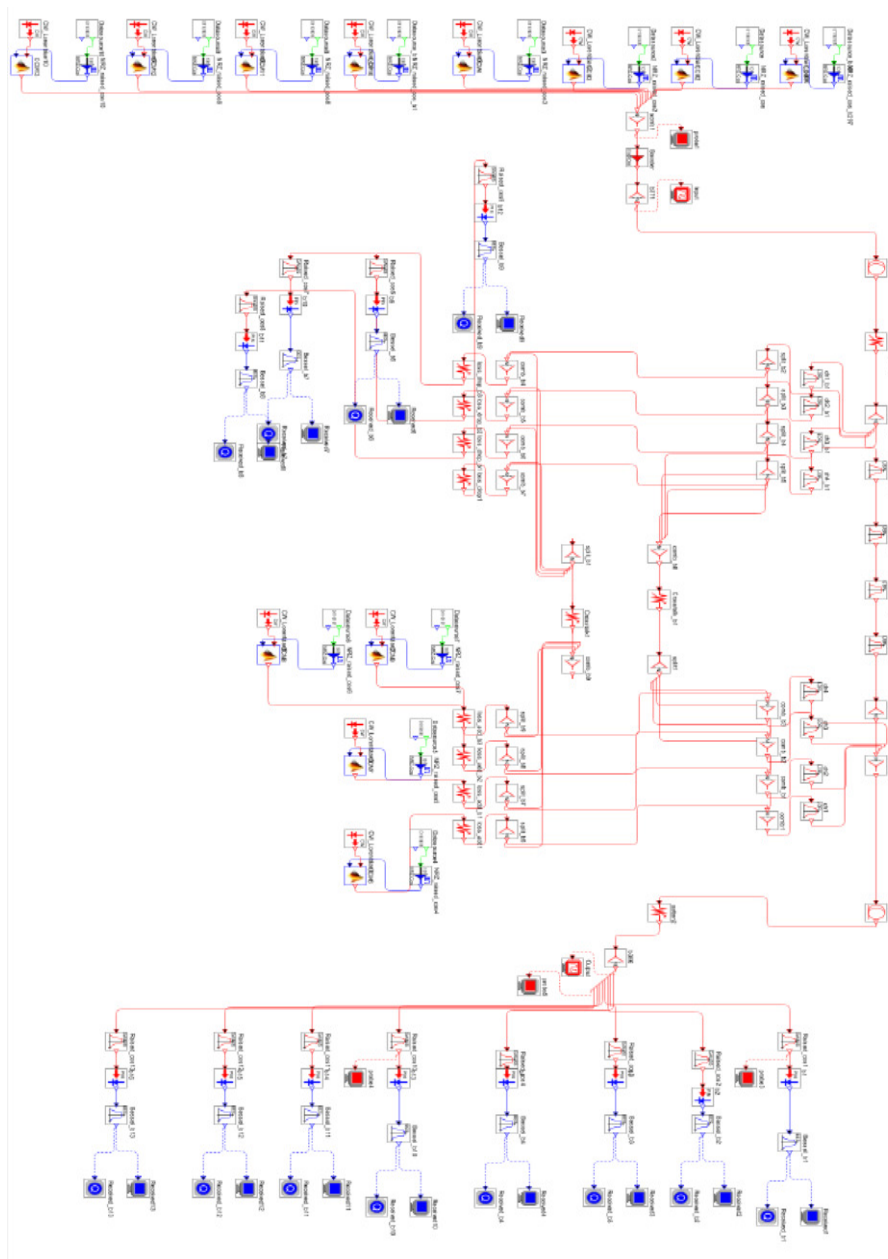
Obr. 1. Schéma OADM (Optical AddDrop Multiplexer - optický AddDrop multiplexor).

Optický AddDrop multiplexor/demultiplexor plní funkciu pridávania resp. odoberania nových vlnových dĺžok. Existujú dva stavy nastavenia prepínačov sady 2x2. V prípade nastavenia na pozíciu „kríženie“ dochádza k zahodeniu danej vlnovej dĺžky, ktorá sa použije pre potreby lokálnej siete a naopak, nová vlnová dĺžka z lokálnej siete, bude pridaná do siete pomocou OADM. V druhom prípade sa vlnové dĺžky šíria priamo cez OADM bez akéhokoľvek zahodenia alebo pridania. V takomto prípade je sada prepínačov prepnutá do stavu „blokovať“ [3,4].

Poznáme niekoľko možností realizácie OADM. Existuje rad technológií multiplexora a demultiplexora zahrňujúci TFF (tenké vrstvy filtra) a FBG (vláknová Braggova mriežka) s optickými cirkulátormi a integrovanými mriežkami. Rozoznávame dva typy OADM, a to COADM (nastaviteľný optický AddDrop multiplexor) a ROADM (rekonfigurovateľný optický AddDrop multiplexor).

### III. OVERENIE VPLYVU SRS A SBS V SYSTÉMOCH S AddDrop MUX/DEMUX

Na tvorbu simulačnej schémy bol využitý programový prostriedok Optsim. Schéma sa skladá z 8 vysielačov a 8 prijímačov, medzi ktoré bol vložený optický AddDrop multiplexor/demultiplexor. Každý vysielač vysiela na inej frekvencii. Tieto frekvencie sú zobrazené v Tab. 1. Návrh simulačnej schémy je zobrazený na Obr. 2.



Obr.2. Návrh simulačného modelu.

Tab. 1  
 Hodnoty použitých frekvencií

Frekvencie [THz]	
50 GHz	25 GHz
193,00	195,700
193,05	195,725
193,10	195,750
193,15	195,775
193,20	195,800
195,70	195,825
195,75	195,850
195,80	195,875

Na overovanie vplyvu pomocou simulačného programu boli využité rôzne kombinácie. Menili sa dĺžky vlákna, rozstupy medzi jednotlivými kanálmi, kódovania a modulácie. Pre lepšie porovnanie boli vykonané merania bez vplyvu a potom s použitím nelineárnych vplyvov. Pri všetkých simuláciách sa využívali frekvencie od 193,0 THz do 195,8 THz pre 50 GHz rozstupy a pre 25 GHz rozstupy sa využívali frekvencie od 195,7 THz do 195,875 THz. Ďalšie hodnoty parametrov sú zobrazené v Tab. 2.

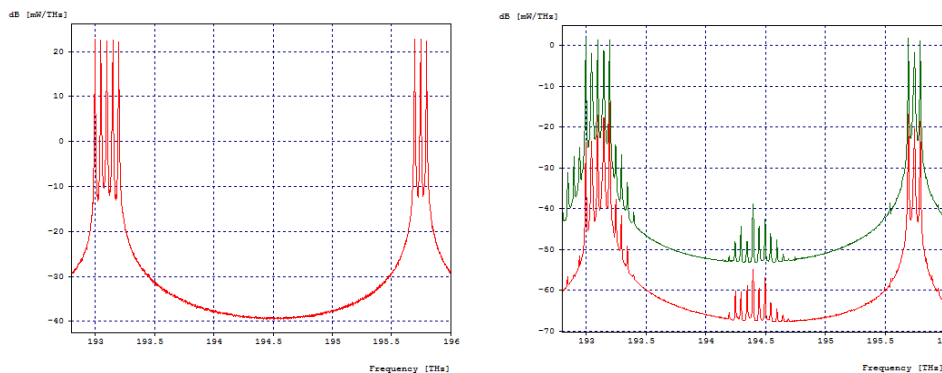
Tab. 2  
 Hodnoty použitých parametrov

Parametre	
Typ	Hodnota
Rozstupy	50 GHz a 25 GHz
Dĺžka optického vlákna	50 km + 50 km a 25 km + 25 km
Útlm	0,25 dB/km
Prenosová rýchlosť	10 Gbit/s
SBS zisk	$3 \cdot 10^{-8}$ , $3 \cdot 10^{-9}$ , $3 \cdot 10^{-11}$
Budiacia pumbpa	1440 nm a 1500 nm
Modulácie	ASK a PSK
Kódovanie	RZ a NRZ

#### IV. VYHODNOTENIE EXPERIMENTOV

##### A. Vyhodnotenie experimentov bez použitia nelineárnych vplyvov

Pri rozstupe kanálov 50 GHz, rôznej dĺžke optického vlákna, použití NRZ kódovania a ASK modulácie sa výstupný výkon oproti vstupnému výkonu výrazne zmenil. Hodnoty vstupného výkonu sa pohybovali okolo hodnoty 22 dB [mW/THz]. Hodnota výkonu na výstupe našej simulačnej schémy pri dĺžke optického vlákna 100 km zobrazovala hodnotu -10 dB [mW/THz] a pri dĺžke vlákna 50 km zobrazovala 3 dB [mW/THz]. Obidve simulácie sú zobrazené na Obr. 3.



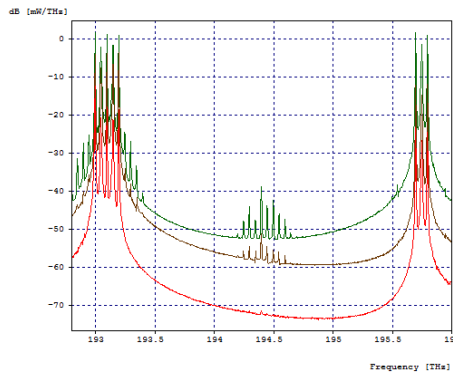
Obr.3. Vstupný výkon a porovnanie výstupných výkonov pre 50 km (zelená krivka) a pre 100 km (červená krivka).

Pri diagramoch oka taktiež dochádzalo k zmenám. Hodnoty BER boli rozdielne pre obidva dĺžky optického vlákna. Zatiaľ čo pri 100 km optickom vlákne sa hodnoty BER na 1. kanáli pohybovali na úrovni  $2, 3 \cdot 10^{-13}$ , tak pri kratšej vzdialenosti sa hodnoty BER pohybovali na úrovni  $1 \cdot 10^{-29}$ .

##### B. Vyhodnotenie experimentov vplyvu stimulovaného Brillouinovho rozptylu

Pri kombinácii 100 km vlákna, 50 GHz rozstupu kanálov a NRZ kódovania s ASK moduláciou bol Brillouinov zisk nastavený na rôzne hodnoty. Brillouinov zisk má najväčší vplyv na prenos v optickom vlákne. Výstupné signály jednotlivých zmien SBS zisku, sú

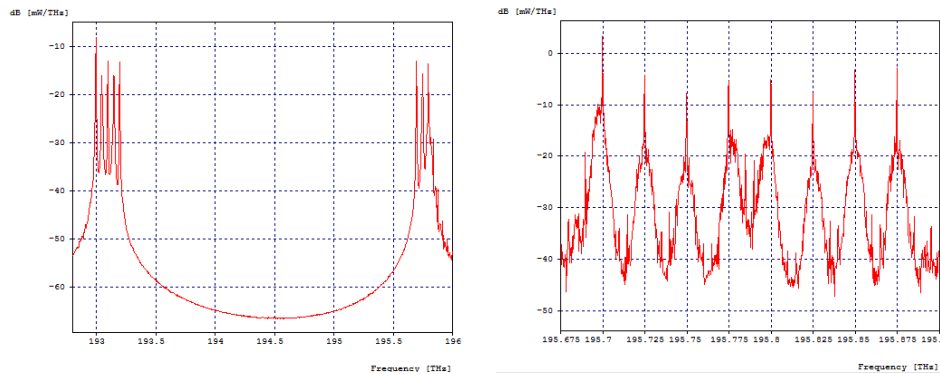
zobrazené na Obr. 4. Z dosiahnutých meraní je zrejmé, že najlepší výsledok dostaneme pri nastavení Brillouinovho zisku na hodnotu  $3 \cdot 10^{-11}$ .



Obr.4. Porovnanie výstupného signálu pri hodnote SBS zisku  $3 \cdot 10^{-8}$  (červená krivka),  $3 \cdot 10^{-9}$  (hnedá krivka),  $3 \cdot 10^{-11}$  (zelená krivka).

Pri rovnakých podmienkach, avšak so zmeneným kódovaním z NRZ na RZ sa výstupný vykoľ zmenil len minimálne. Použitím fázového modulátora, tiež nedošlo k výraznej zmene.

Pri 50 GHz rozstupe kanálov a 50 km vlákne sa najvyšší výkon špičky s nastaveným Brillouinovým ziskom  $3 \cdot 10^{-8}$  pohyboval okolo hodnoty -8 dB [mW/THz], zmenou rozstupu na 25 GHz sa najvyšší výkon špičky pohyboval na úrovni 3 dB [mW/THz]. Obidva prípady sú zobrazené na Obr. 5.

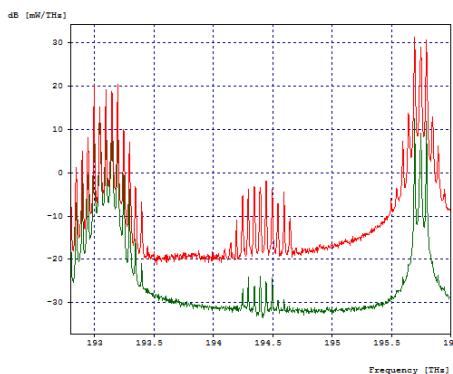


Obr.5. Výstupné signály pri 50 GHz rozstupe kanálov (vľavo) a 25 GHz (vpravo).

Iné BER hodnoty sme dostali zámennou RZ za NRZ a taktiež pri zmene ASK za fázový modulátor. V obidvoch prípadoch došlo k minimálnemu zlepšeniu. V prvom prípade sa hodnoty zmenili z  $3,3 \cdot 10^{-6}$  na hodnotu  $1,5 \cdot 10^{-6}$ , v druhom prípade z  $2 \cdot 10^{-6}$  na hodnotu  $1,35 \cdot 10^{-6}$ .

### C. Vyhodnotenie experimentov vplyvu stimulovaného Ramanovho rozptylu

Na overenie vplyvu stimulovaného Ramanovho rozptylu boli použité kombinácie schém ako v prípade pri overovaní vplyvu SBS. U SRS sa parametrom, ktorý najviac ovplyvňuje prenos považuje budiaca pumpa.

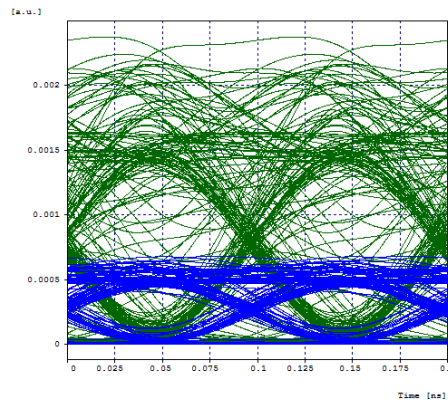


Obr.6. Porovnanie spektra výstupných signálov pri nastavení budiacej pumpy 1440 nm (červená krivka) a 1500 nm (zelená krivka).

V našom prípade bola budiaca pumpa nastavená na dve rôzne hodnoty. Pri hodnote 1440 nm začalo spektrum „stúpať“, pričom pri hodnote 1500 nm to malo opačný efekt a spektrum začalo „klesať“. Je to pri kombinácii 100 km dĺžky vlákna, ASK modulácii a NRZ kódovaní.

Pri nastavení budiacej pumpy 1440 nm bol rozdiel vo výkone medzi prvým a posledným kanálom približne 11 dB [mW/THz], v druhom prípade, pri nastavení pumpy 1500 nm bol rozdiel 6 dB [mW/THz]. Porovnanie oboch spektier je na Obr. 6.

Viditeľné zmeny nastali aj pri zobrazení diagramu oka. S budiacou pumpou 1440 nm boli hodnoty vyššie ako s budiacou pumpou 1500 nm (Obr. 7).



Obr.7. Porovnanie diagramu oka 1. kanála pri nastavení budiacej pumpy 1500 nm (modrá krivka) a 1400 nm (zelená krivka).

## V. ZÁVER

Z hľadiska kombinácie najlepšie výsledky boli dosiahnuté pri kratšej dĺžke optického vlákna v kombinácii s kódovaním RZ a moduláciou ASK.

Pri SRS a SBS najdôležitejšiu úlohu zohrávali parametre budiacej pumpy a Brillouinového zisku. Simulovanie prebiehalo s dvomi hodnotami budiacej pumpy, t.j. 1440 nm a 1500 nm. Najlepšie výsledky boli dosiahnuté pri hodnote 1440 nm a pri kombinácii RZ kódovania, ASK modulácii a 50 km vlákne. Výstupný signál v najvyššej časti spektra bol zosilnený o 20 -25 dB [mW/THz]. Pri hodnote budiacej pumpy 1500 nm sa zosilnenie pohybovalo na úrovni 10 dB [mW/THz]. V kombinácii s fázovým modulátorom a iným kódovaním sme nedosiahli výrazné zlepšenie. Použitím menšieho rozstupu kanálov sa nám výsledky v určitých momentoch dokonca zhoršili.

Brillouinov zisk je parameter, ktorý je dôležitou časťou pri optických prenosoch. V našom prípade boli vykonané simulácie s 3 rôznymi hodnotami Brillouinového zisku. Kombinácie kódovania a modulácií boli použité rovnaké ako v prípade SRS. Rozdiely boli viditeľné predovšetkým v hodnotách BER, kde pri Brillouinovom zisku  $3 \cdot 10^{-8}$  sa hodnoty BER pohybovali na úrovni 2,  $2 \cdot 10^{-26}$ . Zmenou Brillouinového zisku na  $3 \cdot 10^{-11}$  sa hodnoty BER zmenili na 1,  $9 \cdot 10^{-30}$ . Z tohto hľadiska sa javí, že čím nižšia hodnota Brillouinového zisku, tým lepšie.

Simulácie boli vykonané v dvoch rozstupoch 50 GHz a 25 GHz. Väčšie rozstupy boli použité kvôli poukázaniu na dosiahnutie lepších výsledkov.

## POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou (KEGA) Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky na základe projektu č. 023TUKE-4/2017. Táto práca je tiež výsledkom zmluvy č. VEGA 1/0772/17 - Lokalizácia osôb na základe detekcie ich vitálnych funkcií UWB senzormi krátkého dosahu.

## LITERATÚRA

- [1] J. Tang et al., "The Multispan Effects of Kerr Nonlinearity and Amplifier Noises on Shannon Channel Capacity of a Dispersion Free Nonlinear Optical Fiber," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 19, no.8, 2001. pp. 1110-1115.
- [2] K. Thyagarajan, A. Ghatak, "Fiber Optics Essentials", ISBN 978-0-470-09742-7, 2007, John Wiley & Sons, Inc. Hoboken New Jersey, 239 pp.
- [3] S. Sharma, S. Mohan, "Countering the Gain Behavior of Erbium Doped Fiber Amplifiers: a cross layer approach", *International Conference on: Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS)*, vol.15., no. 18, pp. 1-6.
- [4] F. M. Madan, K. Kikuchi, "Design theory of long-distance WDM dispersion-managed transmission system", *Journal of Lightwave Technology*, vol. 17, no. 8, Aug. 1999, pp. 1326-1335.

# Využitie technológie Li-Fi

*Luboš OVSENÍK, Ján TURÁN, Dávid SOLUS, Peter ŠULAJ*

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

lubos.ovsenik@tuke.sk, jan.turan@tuke.sk, david.solus@tuke.sk,  
peter.sulaj@student.tuke.sk

**Abstrakt** — Cieľom tohto článku je popis využitia technológie Li-Fi (prenos dát pomocou LED žiaroviek) na prenos dát medzi senzormi v inteligentnom dome a rieši problematiku pri návrhu a výbere správnej technológie pre komunikáciu s ostatnými akčnými členmi inteligentného systému. Jedným z najrozšírenejších systémov inteligentných inštalácií je systém KNX (Medzinárodná organizácia pre automatizáciu budov), ktorý zároveň vytvára celosvetový štandard zameraný na automatizáciu budov. Tento štandard zaisťuje kompatibilitu všetkých produktov od rôznych výrobcov a predovšetkým celosvetovú sieť poskytovateľov a odborníkov v danom odvetví.

**Kľúčové slová** — KNX, Li-Fi, prenosový systém, senzory, smart systém

## I. ÚVOD

Informačné technológie sú považované za kľúčový faktor ovplyvňujúci ekonomický a spoločenský vývoj. Vývoj technológií evokuje rastúce možnosti vyvolávajúce vyššie nároky užívateľov a potrebu inovácie. Hoci v našich končinách nie je pojem inteligentnej elektroinštalácie príliš rozšírený, postupom času sa na našom trhu objavuje stále viac systémov, ktoré toto odvetvie dopĺňajú. Inovácia technológií pre riadenie domácností a budov zapríčiňuje nahrádzanie bežných konvenčných elektroinštalácií inštaláciami inteligentnými. Inteligentné inštalácie kombinujú technologický pokrok, ekonomickú prevádzku a zjednocujú technológie budov, čím sa vytvára efektívne a užívateľsky komfortné prostredie, ktoré zohľadňuje potreby užívateľov a efektívne, ale aj ekonomicky riadi celý systém. Vytvorenie takto funkčného systému je finančne náročnejšie, avšak ponúka vyššiu flexibilitu, návratnosť a perspektívu do budúcnosti. Jedným z najrozšírenejších systémov inteligentných inštalácií je systém KNX, ktorý zároveň vytvára celosvetový štandard zameraný na automatizáciu budov. Tento štandard zaisťuje kompatibilitu všetkých produktov od rôznych výrobcov a predovšetkým celosvetovú sieť poskytovateľov a odborníkov v danom odvetví [2,3].

## II. MODERNÉ TECHNOLOGIE VYUŽÍVANÉ V INTELIGENTNOM DOME

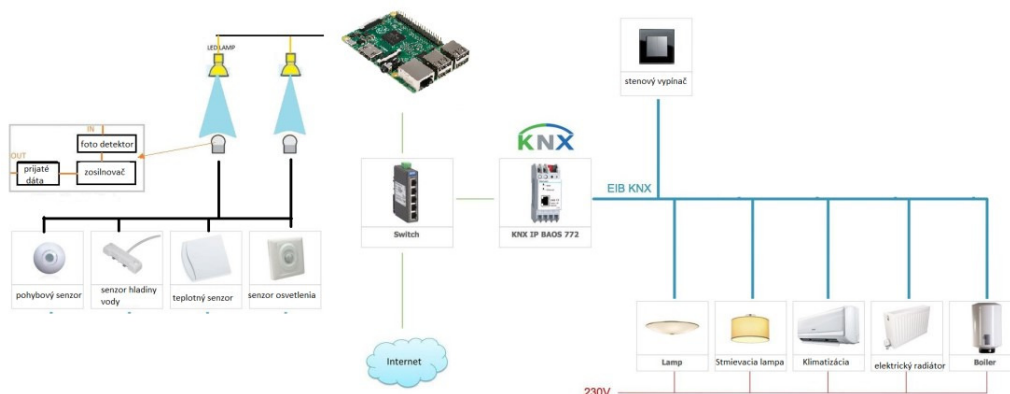
Pojem „inteligentný dom“ predstavuje automatizované centralizované riadenie budovy. Pod automatizovaným riadením rozumieme ovládanie vykurovania, vetrania, klimatizácie, osvetlenia a ďalších systémov prostredníctvom systému riadenia jednotky budovy (BAS – Building Access System). Cieľom automatizovaného riadenia budovy je lepší komfort, bezpečnosť a efektívna správa energií. Automatizácia budovy je vynikajúcim príkladom distribuovaného riadiaceho systému, kde hlavnú časť tvorí počítač a sieť elektronických prístrojov určených na sledovanie, kontrolu a zabezpečenie. Môžu byť mechanické, bezpečnostné, protipožiarne, protipovodňové, niektoré systémy môžu využívať núdzové osvetlenie, reguláciu vlhkosti a vetrania v budove. BAS udržiava klímu budovy v stanovenom rozsahu, kontroluje svetlo v spodných miestnostiach na základe údajov získaných z pohybových senzorov umiestnených v stropoch miestností, sleduje efektívny výkon osvetlenia a intenzitu prispôsobuje na základe vonkajšieho osvetlenia miestností. Kontroluje a koordinuje všetky systémy, poskytuje informácie spustenia alarmu v prípade neprítomnosti obyvateľov budovy. BAS by mala znížiť stavebné náklady na energie a údržbu na rozdiel od neriadenej budovy. Väčšina technológií bola využívaná v priemyselných budovách a v automatizovaných systémov riadenia výrobného procesu. Tieto technológie boli zdokonalené a začali sa využívať v automatizovaní domácností. Väčšina priemyselných budov bola po roku 2000 dovybavená priemyselnou jednotkou BAS, pre zvýšenie efektívneho nakladania s energiami a úsporu prevádzkových nákladov. Budovy, ktoré sú riadené jednotkou BAS sú často označované ako „inteligentné budovy“, alebo „inteligentná domácnosť“. Tieto budovy sa historicky spoliehajú



na komerčné a priemyselné protokoly, ktoré boli otestované vo výrobných procesoch pre ich vysokú odolnosť voči chybám a bezporuchovej prevádzke. Najčastejšie používaným protokolom je BACnet, poprípade X10. Nedávne IEEE štandardy (najmä IEEE 802.15.4, IEEE 1901 a IEEE 1905,1, IEEE 802,21, IEEE 802.11ac IEEE 802.3at) umožňujú využívať viaceré typy fyzických vrstiev (krútená dvojlinka, CAN zbernica, RF (Rádiová frekvencia)), na rôzne účely, garantovať kvalitu služby a bezpečnú prevádzku. Systémy určené pre komerčnú, priemyselnú či vojenskú prevádzku sa líšia od domácich systémov väčšinou len v mierke. Takmer väčšina viacposchodových zelených budov je navrhnutá tak, aby jednotka BAS spravovala energiu, vzduch a vodu. Typickou funkciou BAS je elektrické riadenie osvetlenia avšak obsluhuje aj sofistikovanejšie požiadavky, ako je sledovanie vetrania a vlhkosti. Tieto budovy sa snažia čo najviac využívať nízkonapäťové zariadenia, zvyčajne integrované cez rozvody Ethernetu a napájané pomocou Ethernetových káblov. Túto energiu sa budova snaží získať zo solárnych kolektorov umiestnených na streche budovy. Z dôvodu transformácie napätia z jednosmerného na striedavé sa v celej budove, ak je to možné, využíva jednosmerné napätie [1,3].

### III. KONCEPT NÁVRHU INTELIGENTNÉHO DOMU

Návrh inštalácie v rodinnom dome vidíme na Obr. 1, kde Raspberry Pi tvorí jadro celého systému a spojuje dva nezávislé systémy do komplexného celku. Na jednej strane je to zbernica KNX, ktorá sa stará o komunikáciu s akčnými členmi, lampami, elektronikou a vypínačmi. Na strane druhej je to technológia Li-Fi, ktorá zabezpečuje komunikáciu senzorov s riadiacou jednotkou Raspberry Pi. Pre úspešnú komunikáciu so zbernicou KNX je potrebný KNX/IP prevodník, ktorý sa stará o komunikáciu medzi Ethernetom a zbernicou a sprostredkuje informácie Raspberry Pi. Celý systém je navrhnutý tak, aby v prípade zlyhania Raspberry Pi mohla zbernica KNX fungovať samostatne a neohrozi sa tak bezproblémové ovládanie domu. Samozrejme ide len o ovládanie svetelných okruhov a núdzové zabezpečenie kúrenia. Kúrenie v núdzovom režime je realizované pomocou jednoduchého termostatu umiestneného v chodbe, ktorý riadi chod čerpadiel. Pre manuálne ovládanie teplej vody slúži štvorcestný ventil. Vďaka ventilu môžeme regulovať vstupnú teplotu do podlahového kúrenia. Termostat riadi iba chod čerpadiel, nemá vplyv na teplotu vody v podlahe. Celú „inteligenciu“ domu obsahuje Raspberry Pi a bez neho sa dom bude správať, ako keby obsahoval iba štandardnú elektrickú inštaláciu.



Obr.1. Schéma inštalácie smart systému v dome.

### IV. Li-Fi v INTELIGENTNOM DOME

Tento nápad bol prvýkrát predstavený Haraldom Haasom z University of Edinburgh, Veľká Británia, vo svojej prednáške hovoril o VLC (Visible Light Communication). Vysvetlil, že je to veľmi jednoduché, LED svieti pokiaľ prenášame logickú 1 a nesvieti, ak prenášame logickú 0. Svetelné diódy môžeme zapínať a vypínať veľmi rýchlo, čo dáva vynikajúcu príležitosť na prenos dát. Musíme jednoducho meniť rýchlosť, pri ktorej LED blikanie bude kódovať dáta v závislosti od rýchlosti blikania. Vylepšenia môžeme vykonať pomocou matice LED diód pre paralelný prenos dát alebo použitím zmesi červenej, zelenej a modrej LED diódy meniť frekvenciu svetla. Každý kmitočet kóduje iný dátový kanál. Takýto pokrok sľubuje teoretickú rýchlosť 10 Gbit/s, takže si môžete stiahnuť film s plným HD rozlíšením len za 30 sekúnd. Vysoké prenosové rýchlosti vyžadujú veľkú šírku pásma a frekvenčné pásma nemajú

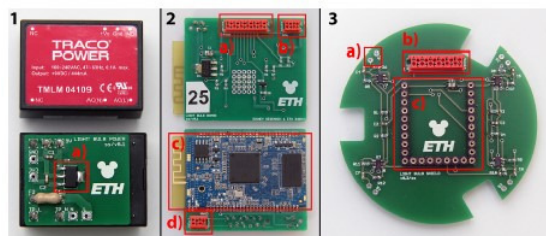
neobmedzenú kapacitu. Vzhľadom k obmedzeným kapacitám frekvenčného pásma má technológia LiFi viaceré výhody. Vzhľadom k tomu, že LiFi používa len svetlo, môže byť bezpečne využívaná v lietadlách, nemocniciach, ktoré sú náchylné na rušenie rádiovými vlnami. Nasadenie tejto technológie môže byť využité aj pre podmorské spojenia, čím otvorí nekonečné možnosti využitia pre vojenské operácie. Rádiové vlny sú nahradené svetelnými vlnami v novom spôsobe prenosu dát, ktorá je nazvaná Li-Fi.

#### A. Návrh smart systému v inteligentnom dome

Systém pre správu a riadenie inteligentného domu bol experimentálne navrhnutý a testovaný pre správu rodinného domu. Úlohou bolo navrhnuť systém, ktorú bude cenovo dostupný a zároveň bude disponovať možnosťami, ktoré očakávajú obyvatelia od inteligentného domu, t.j. zníženie nákladov na prevádzku, bezpečnosť a požadovanú mieru komfortu. Medzi hlavnými problémami, ktoré sa počas návrhu objavili, bola nevyhovujúca kabeláž. Do každej izby bolo nutné nainštalovať senzor teploty, vlhkosti a okolitého osvetlenia. Tieto senzory nutne museli komunikovať s centrálnou jednotkou v našom prípade Raspberry Pi tretej generácie. Počas prezentácie návrhu obyvatelia ďalšie káble striktnie zamietli, do úvahy preto prichádzala bezdrôtová technológia. Kvôli obave zo stále narastajúceho bezdrôtového smogu v dome, bolo rozhodnuté o využití experimentálnej technológie nazývanej Li-Fi. Táto technológia umožní bezdrôtový prenos dát len s pomocou svetla a neobťažuje okolie vyžarovaním elektromagnetických vln. Jej vývoj sa skôr sústreďuje na prenos dát oboma smermi a skúma sa vyriešenie odosielania dát z koncového zariadenia. Pri našom návrhu vychádzame z toho, že senzorom nemusíme dáta posielajú, stačí aby dáta posielali do centrálneho zariadenia. Senzory boli fyzicky umiestnené v stropných svetlách a napojené na existujúce osvetlenie miestnosti. Museli byť vymenené klasické žiarovky za LED žiarovky, aby prenos mohol byť uskutočniteľný. Hlavným cieľom bolo teda navrhnuť a implementovať programový systém pre Raspberry Pi, ktorý zabezpečí funkcie inteligentného domu.

#### B. Použitie LiFi – úprava LED žiaroviek

Pri návrhu bola využitá sériová komunikácia cez Arduino dosku. Celý systém bol navrhnutý z existujúcich modulov pre Arduino, testovala sa rýchlosť prenosu dát a dosiahnuteľná vzdialenosť, na ktorú prenos mohol byť uskutočniteľný. Keďže ide o senzory, nevyžaduje sa vysoká prenosová rýchlosť. Tento systém využíval na posielanie dát teploty, vlhkosti, atď. správy o veľkosti 8 bitov.



Obr.2. Využívané dosky v systéme riadenia LED žiarovky.

Na Obr. 2 v časti 1 sa nachádza napájací zdroj s regulátorom (1a), konektory do dosky VLC (Li-Fi) regulátora (2a), napájacieho zdroja (2b) a LED (2d); (3) regulátor VLC a senzorová doska s konektorom pre snímače (3a) a záhlavie kolíkov (3c) na pripojenie VLC mikrokontroléra.

VLC vrstvy PHY a MAC sú poskytované na 8-bitovom mikropočítači Atmel (AT-Mega 328p). Arduino doska sa pripája priamo na PCB zosilňovač. Štyri senzory individuálne snímajú prichádzajúce svetlo a VLC firmware môže získavať informácie o originálnej orientácii signálu. Kontrolér používa sériové rozhranie na komunikáciu s SoC (systém na čípe) doskou, na ktorej beží OS Linux. Každá žiarovka má vlastnú SoC dosku. Doska pozostáva z Atheros (AR9331) SoC s vstavanou 802.11g/n Wi-Fi vrátane integrovanej antény. Poskytuje tiež 20 GPIO Pinov a sériového rozhrania (UART). SoC spustíme OpenWrt [4], integrovanú Linuxovú distribúciu určenú špeciálne pre smerovače a iné sieťové zariadenia. Keďže ide o linuxovú distribúciu, dodáva sa s kompletnými sieťovými nástrojmi, ktoré poskytujú kompletnú sieťovú a transportnú vrstvu pre VLC.

V spodnom kryte (Obr. 3) môžeme vidieť (1c) dodatočné napájanie dosiek, svetelné snímače (2b) dosky riadiacej jednotky VLC (1a), horný kryt (2), ktorý obsahuje LED chladič (2b) a LED diódy (2a). Vzduchové odvody sú znázornené na (2c) a pôvodnú žiarovku s integrovaným napájaním LED diód vidíme v časti (3).



Obr.3. Integrácia Arduino dosky do existujúcej žiarovky.

Experimentálna úprava žiarovky je zaujímavý koncept prenosu dát, avšak má viacero nevýhod. Hlavnou je nutnosť vysokého svietiaceho výkonu zo senzorov smerom k prijímaču. Tento koncept má aj obrovskú výhodu, t.j. s integrovaním linuxovej platformy OpenWRT sa dá táto žiarovka využiť na obojsmerný prenos dát pre Internetové služby. Technológia Li-Fi má obrovský potenciál a intenzívny výskum v tejto oblasti môže priniesť intenzívne nasadenie tejto technológie v priemysle a v domácnostiach.



Obr.4. Upravená LED žiarovka pre použitie v LiFi technológii.

## V. ZÁVER

Navrhnutý systém zahŕňa riadenie osvetlenia, časti zásuviek, LED osvetlenie, ovládanie vonkajších žalúzií, simuláciu prítomnosti, ovládanie zavlažovania a kontrolu filtrácie bazéna. Po byte sú rozmiestnené jednotky vstupov, výstupov a spínacie jednotky, ako vo verzii na DIN lištu, tak do inštaláčnej krabice. Jednotky vstupov sú určené pre pripojenie PIR senzorov pohybu a magnetických kontaktov, ktoré sú umiestnené na oknách a na vstupných dverách do bytu. Komunikácia senzorov s riadiacou jednotkou prebieha prostredníctvom technológie Li-Fi a spínacie jednotky komunikujú po zbernici KNX. Celý systém bol navrhovaný tak, aby v prípade zlyhania systému zbernica stále poskytovala základné ovládanie domu, t.j. ovládanie svetelný a zásuvkových obvodov vypínačmi na stenách. Pri správnej činnosti Raspberry Pi načúva a kontroluje stav na zbernici a podľa stavov aktualizuje webové rozhranie domu. Pri zopnutí spínača na stene Raspberry Pi dostane informáciu a aktualizuje softvérový vypínač. Naopak pri požiadavke z webového rozhrania Raspberry Pi prikáže zopnutiu akčného člena a aktualizuje stav LED diódy vypínača umiestneného na stene. Systém sa snaží o to, aby maximálne využil prvky rozmiestnené po byte a aby medzi sebou jednotlivé časti systémov vzájomne komunikovali. Pri snímaní teploty sa využívajú viaceré senzory umiestnené v stope a pod oknom. Hodnoty sa spremerujú, a na základe nameraných hodnôt systém kontroluje kúrenie. Pri poruchovom stave a zlyhaní systému, prípadne zlyhaní komunikácie cez technológiu Li-Fi, ovládanie kúrenia prevezme jednoduchý termostat, ktorý riadi chod čerpadiel. Pre manuálne ovládanie teplej vody slúži štvorcestný ventil. Vďaka ventilu je možné regulovať vstupnú teplotu do podlahového kúrenia. Termostat riadi iba chod čerpadiel, nemá vplyv na teplotu vody v podlahe. Pre osvetlenie sú v niektorých miestnostiach využívané PIR snímače pohybu. Systém je možné diaľkovo monitorovať a ovládať pomocou Internetu alebo SMS. Celý systém je postavený na implementácii mikro PC Raspberry Pi, ktorého najväčšou výhodou je nízka nákupná cena a vysoká variabilita možných riešení pri návrhoch na tvorbu používateľského prostredia na správu a riadenie inteligentného domu.

## POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná agentúrou KEGA na základe projektu č. 023TUKE-4/2017 a je tiež výsledkom zmluvy VEGA 1/0772/17.

## LITERATÚRA

- [1] IEEE Std. 802.15.7-2011, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Part 15.7: Short-Range Wireless Optical Communication Using Visible Light, IEEE Std., 2011.
- [2] Z S. Dimitrov, H. Haas, "Principles of LED Light Communications: To-wards Networked Li-Fi", Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, March 2015.
- [3] KNX Association. KNX Handbook for Home and Building Control.

# On architecture for a smart classroom

<sup>1</sup>Vladimír GAŠPAR, <sup>2</sup>František BAKO

<sup>1,2</sup> Department of Cybernetics and Artificial Intelligence, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>vladimir.gaspar@tuke.sk, <sup>2</sup>frantisek.bako@student.tuke.sk

**Abstract** — This paper presents an overview of an infrastructure created for designing of a smart classroom. The concept considers using smartphones or tablets as a notes tool. Basic idea is to opportunistically push content to the user, in order to simplify the learning process and to provide better class content management by the teacher. The concept also takes the hardware part (gadgets, projector, screens, etc.) of the smart classroom into account, although it has not been implemented for the testing of the concept. A set of applications was created as a proof of concept and to provide a basis for further development.

**Keywords** — smart classroom, gadgets, mobile application, interactive learning

## I. INTRODUCTION

Modern teaching methods always consider using novel interactive methods to approach students during different parts of the learning process. They can also be used on various levels of studies. It has been practically proven that interactive teaching and learning methods are suitable for everyday practice in the primary and secondary education levels. In universities, the penetration of modern interactive technologies in learning and teaching is fairly slow compared to other levels of the education process. The question is, whether there is any need for such technologies. We can find an answer in various studies [10][11][12][13], where authors emphasize the necessity of modernizing the university education. However, the progress is slow usually due to complicated composition of subjects and study programs [1].

Our main motivation is to provide a case study with a smart classroom, which belongs to the class of modern interactive approaches to learning and teaching in general. This concept allows to not only administer students and the content they receive before, during and after the class but also to manage the classroom itself.

## II. RELATED WORK

Although the smart classroom idea is not new, the rise of the Internet of Things (IoT) platforms influenced its rebirth. In the early stages, the idea behind using mobile devices to share and use information for a lifelong learning was defined as Mobile learning (or m-learning) and was proposed by M. Sharples [1]. The m-learning is solely oriented on using mobile devices without interacting with the environment (classroom). This issue was addressed even earlier, in 1998, where D. Franklin and J. Flachsbart [9] emphasized the need to create an intelligent environment that adapts to the user and the user can interact with it. They defined the intelligent classroom as a “robot, where its interior is the world and it uses sensors and actuators in a manner analogous to that of any other robot”.

Apart from the historical point of view, the modernization of the concept has become possible due to various innovations in personal computing, data storage, connectivity, etc. Therefore, the technological mindset was used rather as a diverting branch for expanding the portfolios of large IT oriented companies. As an example, it is possible to mention the Samsung Smart School [5] or Dell smart classroom [3]. Their common idea is to provide an infrastructure (see Fig. 1) to handle communication between student, teacher and classroom equipment at any time. They provide possibilities to share or mirror screens, share documents and interactive content, create quizzes and polls, or to allow students to engage in group activities. Both mentioned classrooms are proprietary, thus both software and hardware equipment is costly.

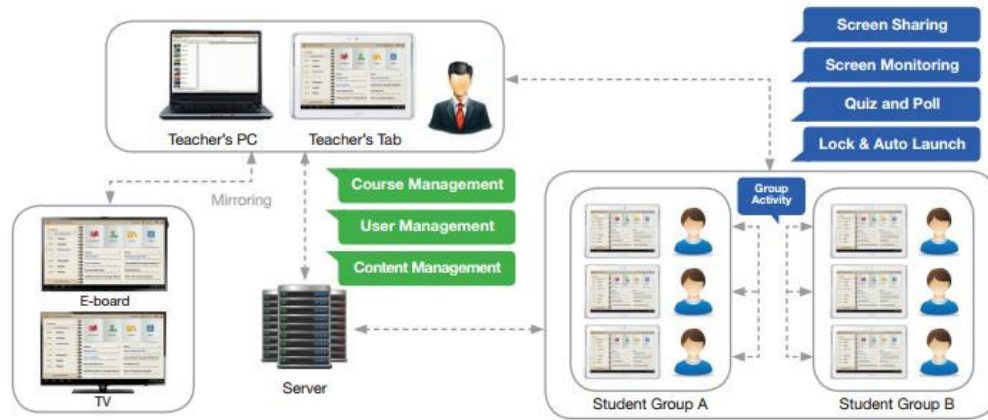


Fig. 1 Samsung smart school solution structure.

On the other hand, the reliability and support are high due to the enterprise nature of the solution.

There are known nonproprietary implementations of smart classrooms, however their complexity and capability to address students' attention is much lower comparing to the enterprise solutions. The Humbolt State university can be used as an example of such implementation [4]. In our parts of the world, the concept has been widely adopted up to the scale of a multimedia classroom, where lecturers can use projection, audio and video content or even use video calls. However, this has nothing to do with students interacting with the environment. Nearly similar approach has been used at the Faculty of pedagogy in České Budejovice in the Czech Republic [2]. Apart from the mentioned multimedia classroom concept, they also added the interactive content by utilizing the screen mirroring and screen sharing into the students' tablets.

### III. ARCHITECTURE

To create a self-sustaining classroom concept, it is necessary to use common and open source technologies. The main reason for this claim is that although the maintenance may be problematic in the future, the structure may be modified later for newer gadgets, data or elements of the environment.

We proposed the hardware and software parts of the architecture (Fig. 2). The most important parts of the hardware composition are wireless access point and a server machine. The former offers possibility for all users to connect to the internal classroom network and receive information in an opportunistic way (pushed to the user's screen). The access point also provides basic authentication using MAC address filtering, so that only permitted users can connect to the smart classroom network. The latter provides role based authorization over the MAC address filtering performed by the access point. It also stores all data about accounts and content saved by users. Using streaming protocols like websocket or RTSP, it can push specific content to the user based on his preferences, class (day of the week, date, time and subject) and role. This means that the first level of interactive communication is provided by the server applications. Smartphones or tablets provide access to the content and they prioritize displaying the content specific to the current context (preferences, class and role). Upon request, the user, whether it is a teacher or a student, can access his personal data on the server or create new content (notes, comments, upload attachments, etc.).

As a supplementary tool, the Raspberry PI may be used as a control system for classroom gadgets and equipment. As depicted in Fig. 2 it might be used for controlling the blinds, projector or projector screen. It would also be able to handle card reader on the door entrance, managing the windows or air conditioning inside the classroom. With a separate server with services inside the Raspberry PI, the requests would be simple in form of REST API calls.

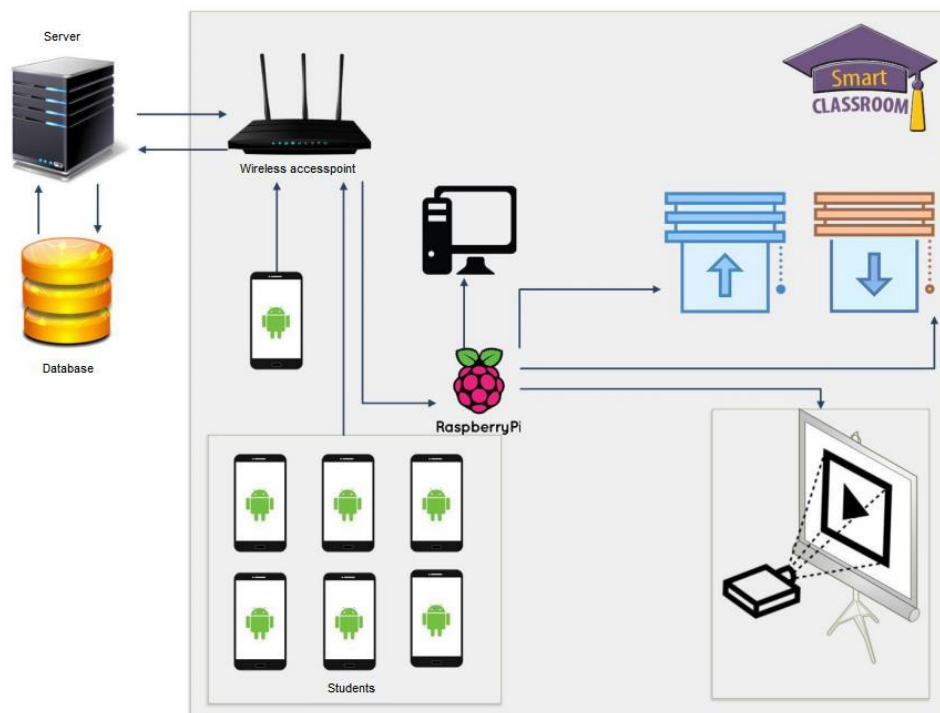


Fig. 2 Hardware composition and interaction of the proposed smart classroom architecture.

The software part of the architecture consists of a Web application with REST API and socket server deployed on the server. It would handle authentication as well as content management and access to the content. Other applications would include mobile application for students and teacher, including a section for classroom administrator.

#### IV. IMPLEMENTATION

To create a basic idea of the proposed concept, we created a REST API application on the server side and an Android mobile application (Fig. 3) as a practical result of a bachelor's thesis.



Fig. 3 Sample lecture notes screen.

The server application was programmed in ASP.NET MVC WebAPI. It includes token based authentication and authorization by MAC address of the phone, its IMEI and Build serial number. The authentication is also supported by using the TUKE LDAP login and password. If the user logs in with the mobile application, according to his current position and current time and day of week he may receive either the currently running lecture or a list of his classes. The teacher may add classes, notes and comments, while the student may only add notes, comments and add an emotion to a specific note. A general note screen of the mobile application can be seen in Fig. 3. We tested the opportunistic data access with a socket connection. The application worked as expected and primary, the content for the specific lecture was shown. Although the socket connection worked correctly, we noticed that the power drainage from the smartphone's battery largely increased. This resulted in poor battery life when using the opportunistic approach. When using general HTTP request to REST API services the power life of the batter did not suffer at all and was typical for online web surfing with a WiFi connection.

To add up to the entire overview, we need to mention the fact that REST services are directly hostable in cloud environments (in this case Azure), thus the service is scalable and ready for deployment at any time.

## V. CONCLUSION

In this paper, we proposed an architecture for a smart classroom based on experience from previous researches. Although the entire architecture has not been implemented yet, we expect to finish the implementation process in the following years. We also created a sample set of applications to provide a basic idea about the architecture in the practice get a view on the possible complexity of the implementation in the future. Both general request approach and an opportunistic approach were tested. We found out that the socket connection has to be optimized and used only when necessary due to overhead data transfer, thus poor battery performance of the smartphone. In the future, we expect to address this issue and continue the implementation of the architecture in a Raspberry PI. We also expect to connect all possible gadgets and classroom equipment. Enhancement of the mobile application and the server side API are also among the required optimization changes for the future. The testing of the framework has not yet been done on a scale to sum up the technological aspects of the solution. The throughput and user expectance test will be conducted to prove the viability of the proposed design.

## ACKNOWLEDGMENT

This publication arose thanks to the support of the Operational Programme Research and development for the project "Centre of Information and Communication Technologies for Knowledge Systems" (ITMS code 26220120020), co-financed by the European Regional Development Fund (50%). This publication was also supported by KEGA 005TUKE-4/2017 Introduction of practical education of mobile technologies through the development of applications for smart devices (50%).

## REFERENCES

- [1] SHARPLES, M.: The design of personal mobile technologies for lifelong learning. In: *Computers & Education*, vol 33 no. 3-4 pp. 177-193. 1.4.2000. ISSN 0360-1315.
- [2] AV Media website: Smart učebna na jihočeské univerzitě, 2015 [online].
- [3] Dell website: The Classroom of the Future, máj 2005 [online].
- [4] Humbolt website: Smart Classrooms, 2017 [online]
- [5] Samsung website: Samsung Smart School, Samsung Electronics Co., 2012 [online]
- [6] Targestudy website: Smart Classrooms – Advantages and Disadvantages, 30.03.2015 [online].
- [7] NIEMEYER, D.: Hard Facts on Smart Classroom Design: Ideas, Guidelines, and Layouts, 2003.
- [8] HAN, Y., ZHAO, X., LI, M., ZHANG, Y.: Design of Intelligent Classroom Bell System Based on Internet of Things. In: 5th International Conference on Information Engineering for Mechanics and Materials (ICIMM 2015).
- [9] FRANKLIN, D., FLACHSBART, J.: All gadget and no representation makes Jack a dull environment In: AAAI Technical Report SS-98-02. 1998. pp. 155-160
- [10] WINER, L.R., COOPERSTOCK, J.: The "Intelligent classroom": changing teaching and learning with an evolving technological environment. In: *Computers & Education* no.38 (2002) pp. 253-266, Elsevier.
- [11] LI, M., LU, S. L., WU, R. R., WANG, G. W.: "Design and Implementation of Classroom Intelligent LED Lighting Control System", *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 734, pp. 956-959, 2015.
- [12] ALTAMIRANO, I.C., HENRÍQUEZ, F.R.: A scalable intelligent room based on wireless sensor networks and RFIDs., In: *Electrical Engineering Computing Science and Automatic Control (CCE)*, 2010 7th International Conference. Tuxtla Gutierrez, 8-10.9.2010. pp. 434-439. ISBN 978-1-4244-7312-0.
- [13] MOWAFEY, SH., SCHMITT, A., HAGRAS, H., MINKER, W.: Creating an Ambient Intelligent Environment with an Emotion-Aware System. In: *Intelligent environments 2009*, V. Callaghan et al., (Eds.) IOS Press, 2009. pp. 236-246. ISBN 978-1-60750-034-6-247.

# Vytvorenie modulu pre lokalizáciu objektov pre cloudové prostredie

<sup>1</sup>Lucia KRAVCOVÁ, <sup>2</sup>Marián MACH

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>lucia.kravcova@student.tuke.sk, <sup>2</sup>marian.mach@tuke.sk

**Abstrakt** — Cieľom článku je problematika riešenia spracovania vizuálnej informácie, spolu s rozpoznávaním objektov a ich polohy. Táto problematika patrí pod oblasť umelej inteligencie. Pomocou segmentačnej metódy prahovania je zabezpečené rozpoznávanie objektov, ktoré vedie k určeniu polohy segmentovaného objektu. Na začiatku implementácie je riešenie určenie polohy objektu v prostredí lokálnej aplikácie, ktorá bola neskôr transformovaná do aplikácie pre cloudové prostredie. V rámci experimentovania s vytvorenou segmentačnou metódou a metódou na určenie polohy objektu bolo zrealizovaných niekoľko typov experimentov. Na základe dosiahnutých výsledkov boli určené výhody a nevýhody zvolených metód.

**KLúčové slová** — cloud, HSV, lokalizácia objektu, MS Azure, segmentácia obrazu

## I. ÚVOD

Hlavným účelom segmentačných metód je rozdeliť obraz na časti, čiže objekty, ktoré úzko súvisia s predmetmi skutočného sveta a na ich pozadie. Segmentácia objektu v obraze je dôležitá pri ďalšom spracovaní obrazu, ktorým je nachádzanie polohy objektu v obraze. Rola umelej inteligencie v tomto kontexte pozostáva z určovania polohy objektu v reálnom čase, bez nutnosti opätovnej definície záujmového objektu. Úlohou je taktiež nasadiť riešenie do cloudového prostredia, ktorému v súčasnosti narastá popularita.

Organizácia článku je nasledovná. Po stručnom opise základných definícií nasleduje opis rozpoznávania objektov, spolu s postupom, ktorý slúži na určovanie polohy objektu. Toto je doprevádzané stručným popisom architektúry vytvoreného systému. Následne je uvedený popis vybraných experimentov spolu s vyhodnotením výsledkov.

## II. DEFINOVANIE ZÁKLADNÝCH POJMOV

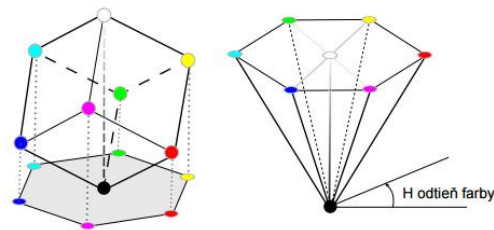
### A. Binárny obraz

Na spracovanie vizuálneho, obrazového vstupu je nutné tento vstup digitalizovať. Obrazový vstup je aj zdrojom spojitého signálu, ktorý je kvantovaný na jasovej úrovni každého elementu. Digitalizácia je realizovaná pomocou vzorkovania obrazu v matici s rozmermi  $M \times N$  obrazových bodov. Matica môže byť reprezentovaná štvorcovou mriežkou. V digitalizovanom obraze predstavuje jedno pole matice jeden obrazový element nazývaný pixel. Binárny obraz je typom digitálneho obrazu, kde každý pixel je reprezentovaný jednou binárnou číslicou, ktorá môže nadobúdať čiernu farbu pri hodnote 0 a bielu farbu, pri hodnote 1 [1].

### B. Farebný model HSV

Skladá sa z troch parametrov, ktorými sú odtieň farby, sýtosť a hodnota jasu. Určenie dominantnej farby je vykonané prostredníctvom odtieňa farby, sýtosť farby označuje prímes ostatných farieb a hodnota jasu množstvo bezfarebného svetla. Priestorové znázornenie tohto modelu je v tvare šesťbokého ihlanu, kde jeho vrchol leží v začiatku súradnicovej sústavy, v bode  $[0,0,0]$  s čiernou farbou (Obr.1). Ihlan je transformáciou RGB kocky, kde hlavná diagonála vedie z bodu čierneho do bodu bieleho. Táto diagonála definuje jasovú os [2].





Obr. 1 Farebné modely RGB kocka (vľavo) a HSV ihlan (vpravo).

### C. Segmentácia

Jeden z najdôležitejších krokov, ktorý vedie k určeniu polohy objektu, je segmentácia obrazu, čiže rozpoznávanie objektov. Obraz je rozdelený na časti – objekty, ktoré úzko súvisia s predmetmi skutočného sveta zobrazeného na obraze. Vo výsledku segmentácie je získané zoskupenie vzájomne sa nezakrývajúcich oblastí, ktoré ak sú priamo zhodné s objektmi na vstupnom obraze, znamená to, že obraz je kompletne segmentovaný.

Segmentácia má viaceré postupy. Jedným z nich je prahovanie, kde objekty alebo oblasti obrazu sú charakterizované konštantnou odrazivosťou alebo absorpciou svetla na ich povrchu. Prahovanie je potom transformácia vstupného obrazu na výstupný, čiže segmentovaný, binárny obraz [3].

### D. Cloudové výpočty

Cloudové výpočty (cloudové počítanie) je pojem, ktorý charakterizuje túto inováciu, kde cloud predstavuje zhluk výpočtových prostriedkov. Tento model, ktorý pre svoje fungovanie využíva internet, je založený na používaní počítačových technológií pomocou ktorých je umožnené poskytovanie služieb alebo programov uložených na serveroch, pričom servery koncový používateľ nevlastní. Prístup je umožnený pomocou webového prehliadača alebo klienta konkrétnej aplikácie nezávisle od polohy používateľa [4].

## III. ROZPOZNÁVANIE OBJEKTOV A ICH POLOHA V OBRAZE

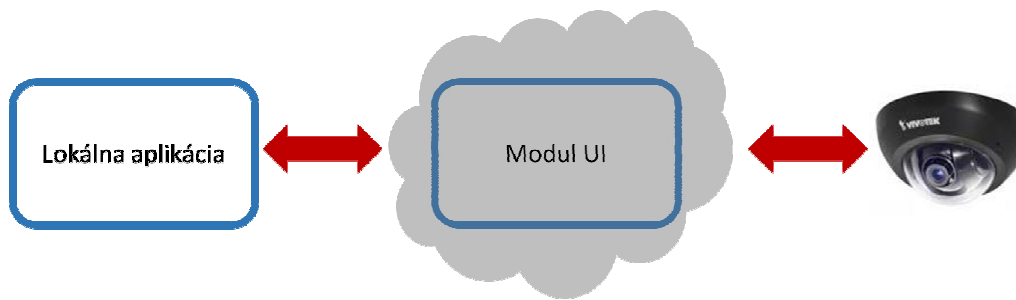
Prvým krokom pri rozpoznávaní objektov je získanie digitalizovaného obrazu prostredníctvom webovej kamery. Takto získaný digitalizovaný obraz je zložený z obrazových bodov, čiže pixelov, ktoré sú usporiadané v štvorcovej mriežke. Nutné je konvertovanie obrazu do farebného modelu HSV, aby bola možná manipulácia s jeho jednotlivým zložkami na výber objektu. Z toho vyplýva, že obraz je segmentovaný na základe jeho farebného odtieňa, sýtosti farby a jasovej hodnoty. Tieto tri zložky vytvárajú 3 rôzne binárne obrazy, kde objekt je reprezentovaný bielou farbou a pozadie čiernou. Vytvorenie týchto obrazov je vykonávané pomocou filtra, ktorý prechádza poľom obrazových elementov nachádzajúcich sa vo štvorcovej mriežke a mení ich farebnú hodnotu pomocou filtračnej matice, ktorá je vytváraná za behu programu podľa numerických parametrov zložiek modelu HSV. Spojením týchto obrazov je získaný výsledný binárny obraz, ktorý reprezentuje segmentovaný objekt.

Ďalším krokom je určenie polohy tohto objektu v obraze [1, 3]. Zistenie polohy objektu v obraze pozostáva z nájdenia kontúr segmentovaného objektu, prostredníctvom funkcií z knižnice EmguCV, ktorá je .NET wrapperom knižnice OpenCV. Na základe týchto kontúr je známa jeho veľkosť v obraze, čo možno použiť pre ohraničenie objektu geometrickým útvarom. Príkladom takého geometrického útvaru je obdĺžnik, pri vykreslení ktorého je známe na akých pozíciách sa nachádzajú jeho rohové body. Rohové body sú reprezentované prostredníctvom súradnicového systému obrazu, udávané v pixeloch. Z toho vyplýva, že pri získaní stredových súradníc objektu je nutné získať stredové súradnice ohraničujúceho útvaru. Jednoduchými matematickými operáciami, ktorými sú v prípade obdĺžnika zmenšenie jeho strán o polovicu, sú získané stredové súradnice útvaru aj objektu.

Tento postup predpokladá, že segmentovaný objekt je pravidelného tvaru. Následná transformácia aplikácie zabezpečila použiteľnosť prostredníctvom cloudového prostredia.

## IV. ARCHITEKTÚRA SYSTÉMU

Celková architektúra vytvoreného systému je znázornená na obr. 2. Lokálna aplikácia umožňuje konfigurovať lokalizačnú úlohu – špecifikovať adresu kamery a vybrať filtračné parametre, ktoré umožnia lokalizovať ten objekt, ktorý je predmetom záujmu.



Obr. 2 Architektúra vytvoreného systému.

Lokálna aplikácia je vlastne prostredím, ktoré umožňuje zobrazit' originálny obraz z kamery, nastavovanie vhodných filtračných parametrov a zobrazenie výsledného segmentovaného binárneho obrazu. Používateľ má možnosť interaktívne meniť parametre a hľadať také ich nastavenie, ktoré je vhodné pre segmentáciu požadovaného objektu. Zvolené parametre sú odoslané do Modulu UI.

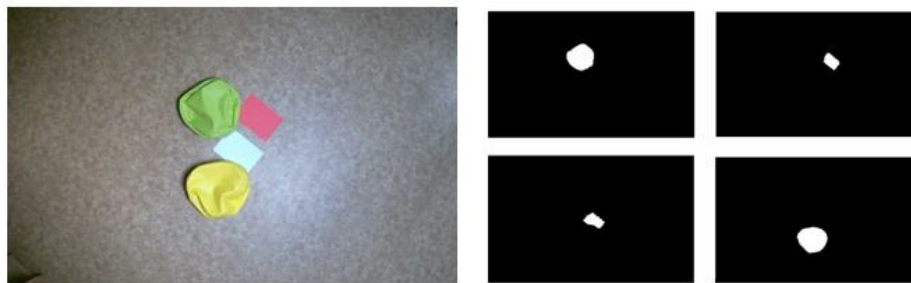
Modul UI je schopný periodicky snímať obraz zo vzdialenej kamery, realizovať segmentáciu a lokalizáciu podľa prijatých parametrov a výslednú polohu sprístupňovať – či už používateľovi prostredníctvom prehliadača alebo nejakej aplikácii prostredníctvom svojho rozhrania. Tento modul, ktorý bol vytvorený pre prostredie MS Azure cloudu (ako cloudová služba), môže byť prevádzkovaný priamo v cloude alebo v lokálnej emulácii cloudového prostredia.

## V. REALIZOVANÉ EXPERIMENTY

Cieľom realizovaných experimentov [5] bolo overiť funkčnosť systému a podmienky jeho použiteľnosti. Pri testovaní bol Modul UI nasadený v emulovanom prostredí na lokálnom PC.

### A. Experiment 1

Cieľom tohto experimentu bolo testovanie vytvoreného systému v situácii, ak sa na obraze nachádza viacero objektov rôznych farieb, pričom farba pozadia je odlišná od farby objektov na obraze. Táto situácia je znázornená na obr. 3. Podmienky takéhoto typu sú ideálne pre správne fungovanie systému.



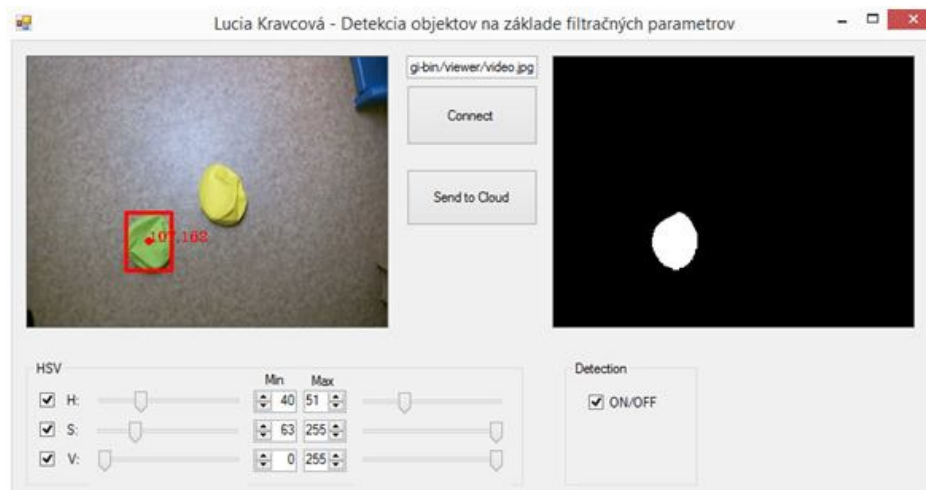
Obr. 3 Snímka z webovej kamery (vľavo) a výsledky segmentácie jednotlivých objektov (vpravo).

Segmentovanie každého zo štyroch prítomných objektov si vyžaduje samostatnú sadu filtračných parametrov, ktoré umožňujú odlišiť daný objekt nielen od pozadia ale aj od iných objektov. Výsledok segmentácie je na obr. 3 vpravo – pre každý objekt sa podarilo odlišiť viditeľnú časť tohto objektu.

Experiment bol realizovaný počas dňa pri použití denného svetla, to znamená, že nebolo použité umelé presvetlenie miestnosti. Objekt bol úspešne lokalizovaný, aj po miernych zmenách osvetlenia v miestnosti.

### B. Experiment 2

Následný experiment pozostával z určenia súradníc jedného zo skupiny objektov. Keďže každý z týchto objektov môže byť segmentovaný samostatne nezávisle od ostatných objektov, je možná aj jeho následná lokalizácia. Obr. 4 ilustruje túto lokalizáciu, kde pre segmentovaný objekt (zelený objekt na originálnom obraze) bola urobená jeho aproximácia obdĺžnikom a určená poloha tohto objektu ako stred daného aproximačného obdĺžnika (obrázok vľavo s vloženým lokalizačným údajom).



Obr. 4 Lokalizácia objektu na snímke z webovej kamery.

Následne bol cloudový modul schopný poskytovať údaje o zelenom objekte aj po zmenách jeho polohy, až do doby kým objekt nezmenil svoju polohu mimo snímaného obrazu.

### C. Experiment 3

Ďalší experiment bol uskutočnený s menej vyhovujúcimi podmienkami, keď je miestnosť presvetlená umelým osvetlením nachádzajúcim sa na stropе miestnosti. Objekty boli odlišné od pozadia ale vzájomne mali podobnú farebnú hodnotu. Aj v tomto prípade sa objekty podarilo úspešne lokalizovať.

Problém však nastáva, ak je obraz zašumený, čiže výsledkom segmentácie sú nielen žiaduce objekty, ale aj časti obrazu s podobnou farebnou hodnotou, ktoré nezodpovedajú objektom na pôvodnom obraze. Riešením je predspracovanie obrazu, ktoré zabezpečí, aby segmentácia nebola vykonávaná pre objekty s menšími rozmermi ako zadanými.

## VI. ZÁVER

V tomto článku bolo popísané spracovávanie vizuálnej informácie s dôrazom na určovanie polohy objektov. Bol popísaný spôsob implementácie rozpoznávacieho systému pre získanie polohy objektu a jeho architektúra.

Tento systém môže byť ďalej transformovaný, na dosiahnutie určovania polohy viacerých objektov súčasne (t.j. spracovávať paralelne viacero úloh, kde každá je daná adresou kamery a sadou príslušných filtračných parametrov). Ďalšou úpravou by mohlo byť konvertovanie súradníc objektu v obraze na reálne súradnice, čiže 3D súradnice.

## POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt "Centrum informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy" (kód ITMS: 26220120020), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## LITERATÚRA

- [1] E. Šikudová, Z. Černeková, W. Benešová, Z. Haladová, a J. Kučerová: Počítačové videnie - Detekcia a rozpoznávanie objektov. Praha: Wikina Praha, 2013, 397 strán.
- [2] P. Blišťan: Úvod do počítačovej grafiky a CAD systémov. AMS Košice, 2004 [Online]. Prístupné: [https://www.researchgate.net/profile/Peter\\_Blišťan2/publication/](https://www.researchgate.net/profile/Peter_Blišťan2/publication/)
- [3] V. Hlaváč a M. Šonka, Počítačové vidění. Praha, CR, Grada, 1992.
- [4] P. Mell a T. Grance: "The NIST Definition of Cloud Computing Recommendations of the National Institute of Standards and Technology," Natl. Inst. Stand. Technol., Inf. Technol. Lab., roč. 145, s. 7, 2011.
- [5] L. Kravcová: Vytvorenie UI modulu pre cloudové prostredie, Bakalárska práca, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, 2017, 77 strán.

# Creating an extension for Google Chrome using content scripts

<sup>1</sup>Kristýna KAŽIMÍROVÁ, <sup>2</sup>Vladimír GAŠPAR

<sup>1,2</sup> Department of Cybernetics and Artificial Intelligence, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>kristyna.kazimirova@student.tuke.sk, <sup>2</sup>vladimir.gaspar@tuke.sk

**Abstract** — This paper introduces the design, creation and deployment of an extension for web browser Google Chrome. It contains a definition of the extension purpose and a description of functionalities provided by the extension. Its particularly intended for parsing of structural table data in specific university portals. It also includes illustrations of the extension design process.

**Keywords** — Google Chrome, extensions, content scripts

## I. INTRODUCTION

In general, the extensions are smaller programs, which extend functionality of a web browser. They have access to bookmarks, history, tabs and many other browser components, including extensions. Moreover, they can communicate with servers and enable access to the DOM of the viewed webpage.

Depending on the web browser, the extensions differ. The extensions in Google Chrome browser are located to the right of the browser's address bar. They are represented by icons and their user interface is minimalist. They mostly contain a so-called popup window, which appears when the user clicks on their icon. We distinguish two types of extensions, namely browser action and page action. The browser action extensions are in the active state on every webpage. On the other hand, the page action extensions can be in an active or inactive state. It depends on the particular webpage and on the extension itself. Extensions for the Google Chrome web browser can be found at the Chrome Web Store. Each Google Chrome extension contains manifest.json file, which includes basic information about the extension, the extension type definition and optional information, such as permissions. The permissions define which components can be accessed by the extension. The extension may contain additional files for example html, css, javascript files, images and so on. It uses a content script to access the DOM of the viewed webpage. Communication between a content script and a parental extension is enabled by message passing or Chrome API storage. Chrome API storage is also used to store data.

The intention of this paper is to introduce specific extension for Google Chrome browser created to export structured data from websites, which do not have an export option or the option is limited. Especially important is the content processing on websites *lib.tuke.sk* and *mais.tuke.sk*.

## II. EXTENSION'S DESIGN AND FINAL LOOK

The extension has been created by following the strategy of research method design and creation. We were using development interface of the source code editor Visual Studio Code along with standard web technologies (javascript, html and css). The final extension is a browser action extension that uses content scripts and Chrome API storage.

The main functionalities provided by the extension are:

- retrieve structured data from a web page
- process and modify the data
- join the tables
- save created content on request
- export of structured data to XLS and to an active element in JSON format

The user interface of the extension can be divided into three sections. The first section is a main menu, mainly used for loading, displaying and saving data on request. The popup window will appear along with main menu after the user clicks on the icon of the extension. Buttons of the main menu may be observed in the Fig. 1.

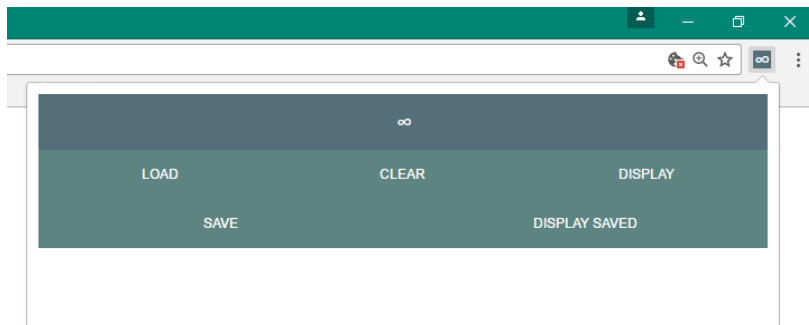


Fig. 1 Preview of popup window with main menu in it.

The LOAD function allows the user to load structured data from currently displayed webpage. Each time the user clicks the button, the currently loaded content is added to the already stored one. It allows the user to perform operations with data from multiple websites. The structured data are loaded from tables, besides the data stored in the footer of the table. To load and save data from the DOM, the extension uses content script and API storage.

We designed CLEAR as a tool to remove stored data loaded and stored by function LOAD. Next, we incorporated saving data on request thru SAVE function.

The DISPLAY and the DISPLAY SAVED buttons are also parts of the main menu. They display the second and the third section by creating html elements followed up by appending those created elements to the body of the popup window. The preview of user interface after displaying loaded content may be observed in the Fig. 2.

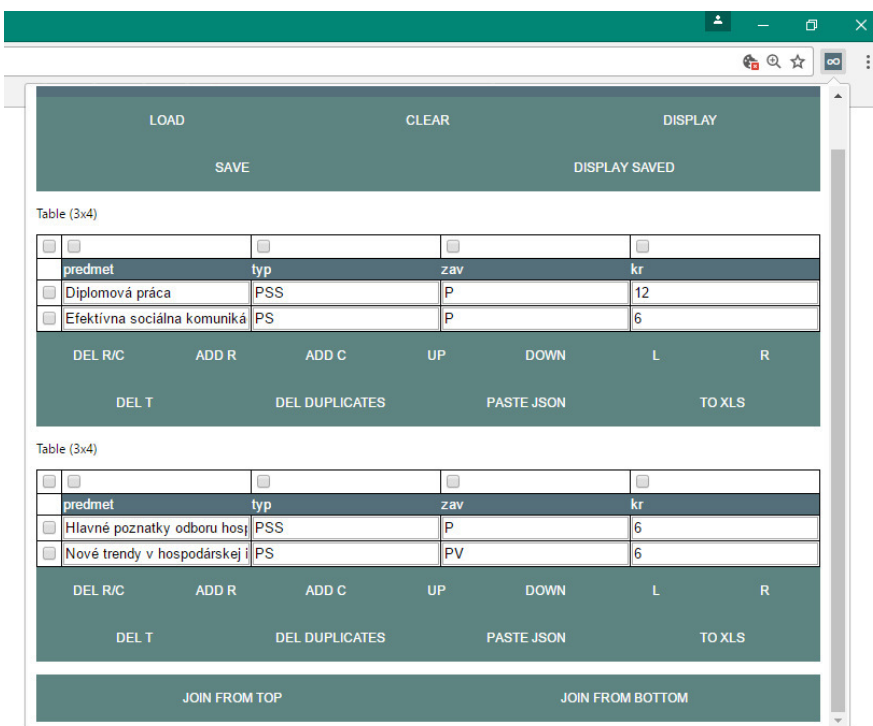


Fig. 2 Preview of user interface after displaying loaded content

The second section consists of several packages. One package includes a description, a table and a set of buttons. Each element of the package has its own unique ID, which includes a specific number characteristic for that particular package. This allows the user to perform operations over tables. Displayed packages may be observed in the Fig. 2. The description provides information about current table dimensions.

We designed tables with a color-different header and rewritable cell contents. Specific rows and columns of the table can be selected by checking their belonging checkboxes.

The set of buttons includes two types of buttons, namely buttons for editing and buttons for export.

The user can make the following edits:

- remove the selected rows and columns (DEL R/C)
- add row or column (ADD R, ADD C)
- change location of the selected rows or columns (UP, DOWN, R, L)
- remove the entire package (DEL T)
- remove the duplicates (DEL DUPLICATES)

The table can be exported in two ways:

- export to XLS (TO XLS)
- export to an active field in JSON format (PASTE JSON)

The PASTE JSON function allows the user to export the data from the table to an active field on currently viewed webpage in the JSON format. It uses the Chrome API storage and a content script for inserting the data to the active field. The attributes in the JSON format are the data from the table header and another data from the table are values assigned to attributes. The preview of this function may be observed in the Fig. 3.

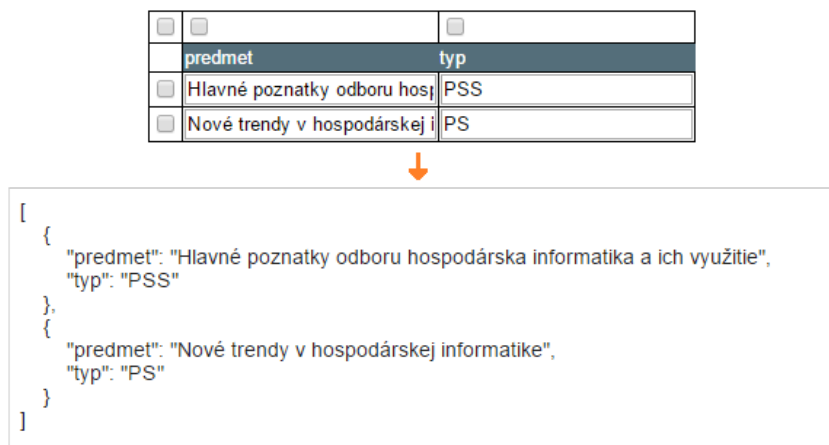


Fig. 3 Preview of the PASTE JSON function

The extension includes automated data editing functions, which are performed before the data are displayed in the popup window. An example is a replacement of the special characters found in the table header (removing punctuation). Another example is function, which has been added to the extension for content processing particularly on *mais.tuke.sk* website. When a characters string “sk: ” and “en: ” combination occurs within a single cell, it will divide contents of that particular column into two columns. The result may be observed in the Fig. 4.

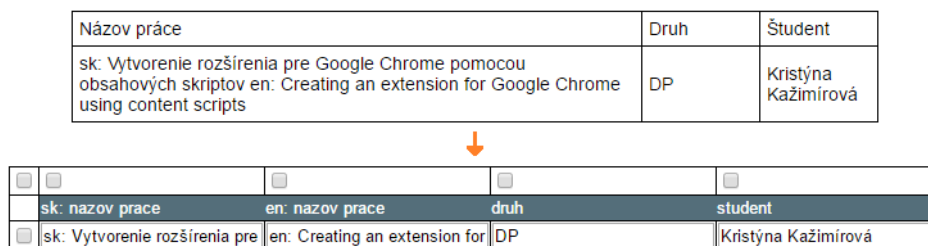


Fig. 4 Preview of automated data editing function

The third section is a collection of two buttons for joining selected tables. Tables are selected by checking their main checkbox, which are located in the upper left corner of the table. To join the tables, at least two tables have to be selected. The result of joining selected tables is not just a new table but the whole new package, which allows the user to continue performing other operations over the created table. The extension allows joining tables from top and from bottom. Joining selected tables from top is described inside the Fig. 5 and the implementation in the browser and use on the *lib.tuke.sk* webpage may be observed in Fig. 6.

<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
predmet	typ	zav	
<input checked="" type="checkbox"/>	Diplomová práca	PSS	P
<input checked="" type="checkbox"/>	Efektívna sociálna komuniká	PS	P

+

<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
predmet	kr	typ	
<input checked="" type="checkbox"/>	Hlavné poznatky odboru hos	6	PSS
<input checked="" type="checkbox"/>	Nové trendy v hospodárskej i	6	PS

↓

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
predmet	typ	zav	kr
<input type="checkbox"/>	Diplomová práca	PSS	P
<input type="checkbox"/>	Efektívna sociálna komuniká	PS	P
<input type="checkbox"/>	Hlavné poznatky odboru hos	PSS	6
<input type="checkbox"/>	Nové trendy v hospodárskej i	PS	6

Fig. 5 Preview of the JOIN FROM TOP function

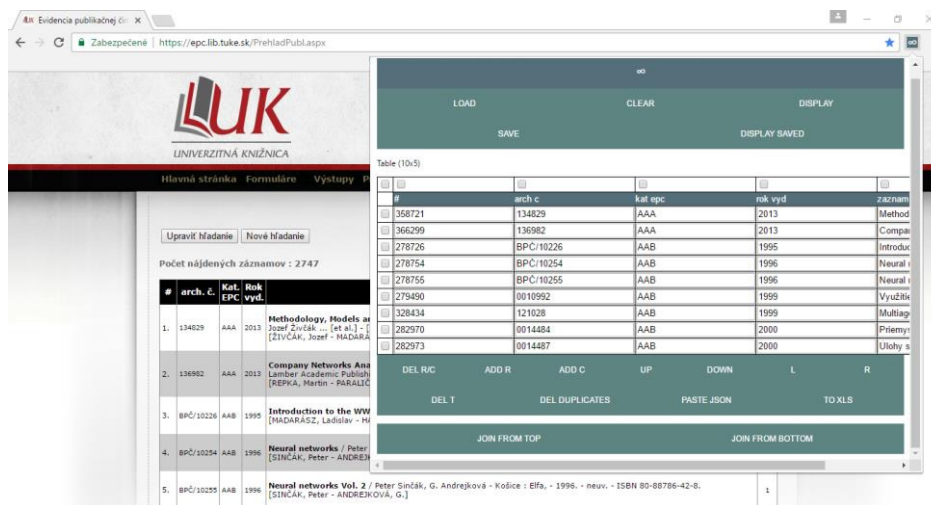


Fig. 6 Example of implementation and use of the extension in the Google Chrome web browser (*lib.tuke.sk*)

### III. CONCLUSIONS

The intention of this paper was to enable the export of structured data from websites without an export option or from websites with limited export option. The main objects of interest were websites *mais.tuke.sk* and *lib.tuke.sk*. The result of this thesis was design and creation of the extension for Google Chrome web browser. The proposed solution is usable on any website with structured layouts that include paragraphs, tables, plain text and text structuring elements like inputs. The testing was done locally by the target users with several suggestions for better UI.

### ACKNOWLEDGMENT

This publication arose thanks to the support of the Operational Programme Research and development for the project "Centre of Information and Communication Technologies for Knowledge Systems" (ITMS code 26220120020), co-financed by the European Regional Development Fund (50%). This publication was also supported by KEGA 005TUKE-4/2017 Introduction of practical education of mobile technologies through the development of applications for smart devices (50%).

### REFERENCES

- [1] What are extensions? [Online]. [cit. 2016-12-13] Available on the Internet: <<https://developer.chrome.com/extensions>>.
- [2] Overview [Online]. [cit. 2016-12-13] Available on the Internet: <<https://developer.chrome.com/extensions/overview>>.
- [3] Manifest File Format [Online]. [cit. 2016-12-26] Available on the Internet: <<https://developer.chrome.com/extensions/manifest>>.
- [4] Content Scripts [Online]. [cit. 2016-12-30] Available on the Internet: <[https://developer.chrome.com/extensions/content\\_scripts](https://developer.chrome.com/extensions/content_scripts)>.

# Návrh tienenia indukčného variča voči vplyvu elektromagnetického poľa

Peter ŽVANDA, Dušan MEDVEĎ

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

peter.zvanda@student.tuke.sk, dusan.medved@tuke.sk

**Abstrakt** — Tento článok sa zaoberá problematikou rozloženia elektromagnetického poľa v okolí indukčného variča, na ktorý sa aplikuje vhodné tienenie elektromagnetického poľa. Tento príspevok sa opiera o výsledky simulácie rozloženia elektromagnetického poľa v prostredí ANSYS, na základe ktorých bolo navrhnuté vhodné tienenie a stanovené odporúčania v podobe návrhu hrúbky tienenia príslušného tieniaceho materiálu.

**Kľúčové slová** — elektromagnetické pole, indukčný varič, simulácia, ANSYS

## I. ÚVOD

V dnešnej dobe je ľudstvo vystavené neustálemu pôsobeniu elektromagnetického žiarenia. Pozostáva ako z prirodzenej zložky radiácie, tak aj z umelo vytvorených elektromagnetických polí. Každé pole sa vyznačuje svojou frekvenciou a vlnovou dĺžkou. Tieto polia poznáme vo forme ako napríklad svetlo, teplo a v inej forme. Zem má elektromagnetické pole (EMP), ktoré nevplyva nepriaznivo na človeka. Teda, prirodzené elektromagnetické pole v okolí človeka pôsobí na človeka už dlhšie, na čo sa človek adaptoval. Umelo vytvorené elektromagnetické pole vzniká v okolí elektrických zariadení ako vedľajší nepriaznivý účinok. Zdroje týchto žiarení sú napríklad Wi-Fi zariadenia, elektrické zariadenia a pod. Z hľadiska neustáleho zväčšovania počtu elektrických zdrojov a ich elektromagnetických polí, je preto problematika vplyvu elektromagnetického poľa na ľudský organizmus aktuálna.

Zdroje elektromagnetického poľa sa nachádzajú ako v exteriéri, tak aj v interiéri, čiže aj vo vnútri obytných budov. Tieto zdroje predstavujú elektrické spotrebiče, ako napríklad sušič vlasov, indukčná varná doska, elektrické vykurovanie podláh a pod. Pre človeka môžu byť polia vytvorené z týchto zariadení škodlivé. V súčasnej dobe sa proti vplyvom elektromagnetických polí zaoberá Medzinárodná komisia pre ochranu pred neionizujúcim žiarením (ICNIRP).

Vzhľadom na to, že tieto umelo vytvorené elektromagnetické polia prichádzajú do kontaktu s človekom a môžu byť pre neho škodlivé, je potrebné sa pred týmito poľami chrániť. Znížením pôsobenia elektromagnetického poľa sa dosiahne utlmenie žiarenia vyžarované na človeka. Zníženie žiarenia je možné realizovať rôznymi spôsobmi, ako napr. dĺžkou pôsobenia, vzdialenosťou od zdroja pôsobenia alebo vhodným tienením. Jedným z cieľov tohto príspevku je prezentovať rozloženie EMP v okolí domácich spotrebičov, konkrétne indukčného variča, ktoré využíva človek pre bežné činnosti a je preto nevyhnutné vedieť, aká časť EMP a ktoré zložky poľa sú pre človeka nebezpečné. Trvalú prácu s jednotlivými zariadeniami môže vyriešiť aplikácia vhodného tienenia EMP a zníženie hodnoty elektrickej a/alebo magnetickej zložky na požadovanú hodnotu.

## II. NÁVRH A VÝBER TIENIACICH MATERIÁLOV

Na to, aby bolo možné odtieniť elektromagnetické pole, je potrebné vhodne zvoliť tieniaci materiál. Keďže sa posudzovalo odtienenie zvlášť elektrického a zvlášť magnetického poľa, bolo potrebné vybrať dva rôzne materiály pre odtienenie príslušného poľa.

### A. Tieniacy materiál proti vplyvu *magnetického poľa*

Materiál tieniaci magnetické pole je charakterizovaný najčastejšie fyzikálnymi veličinami ako sú relatívna permeabilita a elektrická vodivosť. Pre účely tohto príspevku bol vybraný materiál od spoločnosti Magnetic Shield Corporation.



a) *Co-Netic® AA Perfection Annealed*

Uvedený materiál poskytuje dobré tlmenie bez ďalšieho dodatočného spracovania. Hrúbka materiálu býva od 0,36 mm až do 2 mm. K dispozícii je žiňaná platňa, ktorá sa používa celosvetovo pre plošné tnenie, ako je napríklad tnenie dvier, okien alebo stien. Tento materiál sa ponúka aj vo forme fólií. V takomto prevedení je dostupná fólia buď s dvojvrstvou PST-páskou (Pressure Sensitive Tape – páska citlivá na tlak). Obe produkty sú tepelne spracované v náročných podmienkach, ktoré vytvárajú štruktúru zrna, dôležitú pre dosiahnutie konečného tnenia.

Tabuľka 1  
Materiálové vlastnosti tnenia Co-Netic AA Perfection Annealed

Elektrická rezistivita $\times 10^{-6}$ [ $\Omega \cdot \text{m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ ]	55
Počiatková permeabilita [ $\text{H} \cdot \text{m}^{-1}$ ]	30 000
Maximálna permeabilita [ $\text{H} \cdot \text{m}^{-1}$ ]	450 000

2) *Tieniaci materiál proti vplyvu elektrického poľa*

Materiál tieniaci elektrické pole je charakterizovaný najčastejšie fyzikálnymi veličinami ako sú relatívna permitivita a elektrická vodivosť, resp. rezistivita. Pre účely tohto príspevku bol vybraný materiál od spoločnosti Yshield.

a) *Yshield® HNG 80/66*

Materiál tohto typu je tkaná metalizovaná polyesterová sieťovina. Používa sa na tnenie vysokofrekvenčného žiarenia, ale aj nízkofrekvenčného žiarenia elektrických polí. Používa sa na steny, stropy a podlahy. Jeho výhodou je, že sa ľahko lepí. Jeho uplatnenie bolo predovšetkým v bankách a laboratóriách. V súčasnosti sa používa už aj na súkromné účely.

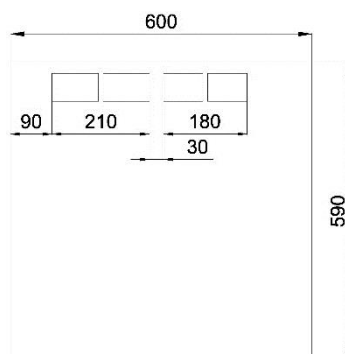
Tabuľka 2  
Materiálové vlastnosti tnenia Yshield® HNG 80/66

Šírka [cm]	66
Útlm [dB]	80 (pri 2 vrstvách 106 dB)
Hmotnosť [ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ ]	80
Hrúbka materiálu [mm]	0,07
Zloženie	polyester, meď, nikel, ochranný povlak
Elektrická rezistivita [ $\Omega \cdot \text{m}$ ]	0,02

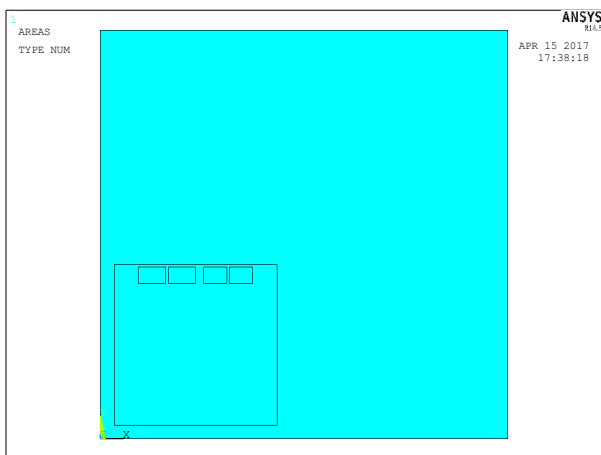
Hodnota relatívnej permitivity tohto tieniaceho materiálu bola stanovená ako priemerná hodnota permitívít – proporcionálna zloženiu materiálu ( $\epsilon_r = 4,515$ ).

## III. GEOMETRIA SIMULOVANÉHO MODELU

Na návrh tnenia proti vplyvu elektromagnetického poľa bol vybraný indukčný varič značky Electrolux EHH6240ISK, ktorý je osadený na elektrickej rúre s hĺbkou 600 mm a výškou 590 mm (Obr. 1). Uvažovaný indukčný varič pozostával zo 4 indukčných platní. Uvažovalo sa s dvoma zapnutými indukčnými platňami, jedna s priemerom 210 mm a druhá 180 mm. Zadná platňa s priemerom, 210 mm má inštalovaný a aj uvažovaný výkon 2800 W. Predná platňa, s priemerom 180 mm, má inštalovaný a aj uvažovaný výkon 1800 W. Predmetný model bol umiestnený v ohraničenom priestore obklopenom vzduchom, s rozmermi 1500×1500 mm (Obr. 2). Model bol zjednodušený tak, aby ho bolo možné riešiť ako 2D model (skrátene času výpočtu).

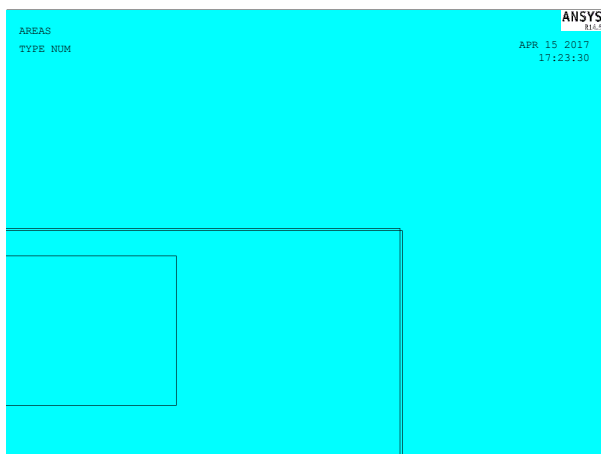


Obr. 1 Geometrické rozmery modelu indukčného variča



Obr. 2 Priestorové usporiadanie modelu indukčného variča v ANSYSe

Po vytvorení základnej geometrie bolo navrhnuté tienenie EMP na daný model indukčného variča. Vzhľadom na to, že model je uložený pri stene, navrhované tienenie bolo aplikované z hornej strany a z prednej strany indukčného variča (pohľad sprava). Hrúbka použitého tieniaceho materiálu bola rôzna pre elektrickú a magnetickú zložku. Pri tienení magnetického poľa mal tieniaci materiál hrúbku 1 mm, pričom pri elektrickom poli bola hrúbka materiálu 0,07 mm. Pri detailnom zväčšení je vidieť na nasledujúcom obrázku aplikované tienenie.



Obr. 3 Detailný pohľad na navrhované doplnujúce tienenie indukčného variča v ANSYSe

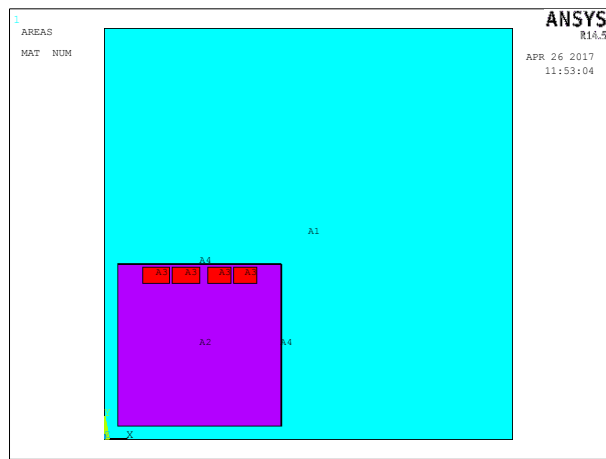
Tabuľka 3  
 Materiálové vlastnosti jednotlivých plôch v ANSYSe

č.	materiál	rezistivita ( $\Omega \cdot m$ )	<i>magnetické pole</i> relatívna permeabilita (-)	<i>elektrické pole</i> relatívna permitivita (-)
A1	vzduch	$2 \cdot 10^{16}$	1,00000037	1,00058986
A2	el. rúra	$2,9 \cdot 10^{-5}$	1	1
A3	meď	$0,68 \cdot 10^{-6}$	1	5,6

Podobne bolo potrebné definovať materiálové vlastnosti tieniacich materiálov. V Tab. 4 sú uvedené vlastnosti magnetických a elektrických tieniacich materiálov.

Tabuľka 4  
 Materiálové vlastnosti jednotlivých plôch v ANSYSe

	č.	materiál	rezistivita ( $\Omega \cdot m$ )	relatívna permeabilita (-)	relatívna permitivita (-)
elektrické pole	A4	Yshield HNG 80/66	0,02	-	4,515
magnetické pole		Co-Netic AA Perfection Annealed	$5,5 \cdot 10^{-5}$	30 000	

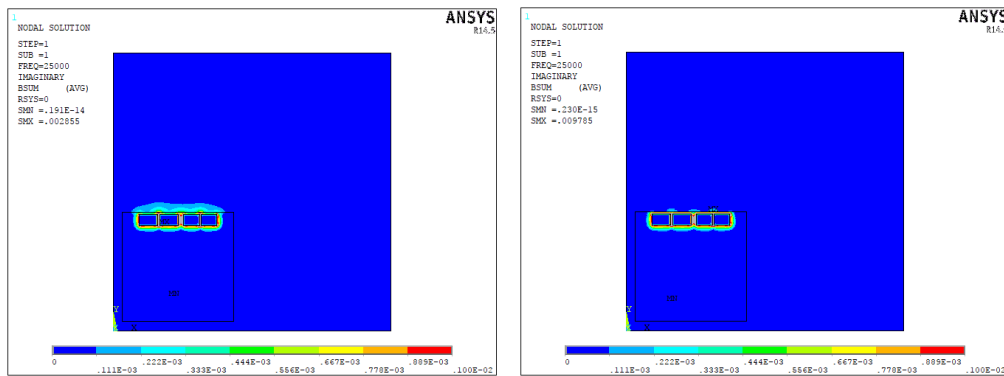


Obr. 4 Geometria a označenie materiálov v okolí indukčného variča v ANSYSe

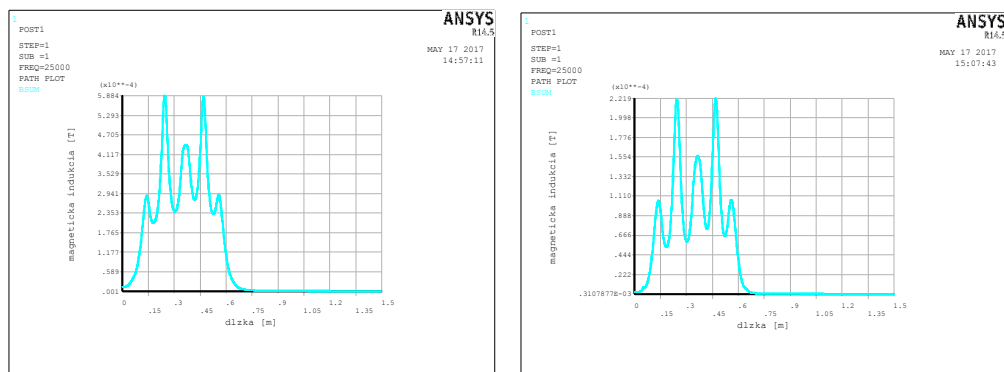
#### IV. VÝSLEDKY MODELOVANIA ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA

V tejto časti príspevku budú zobrazené mapy rozloženia elektrického a magnetického poľa, grafické závislosti a smer siločiar. Každá mapa pôsobenia magnetického a elektrického poľa bola upravená pre lepšie pozorovanie účinnosti tienenia a aj jasnejšiu ilustráciu pôsobenia magnetického a elektrického poľa. Všetky výpočty boli realizované pri frekvencii 25000 Hz, celkovom výkone obidvoch platní 4 600 W a napätí 230 V.

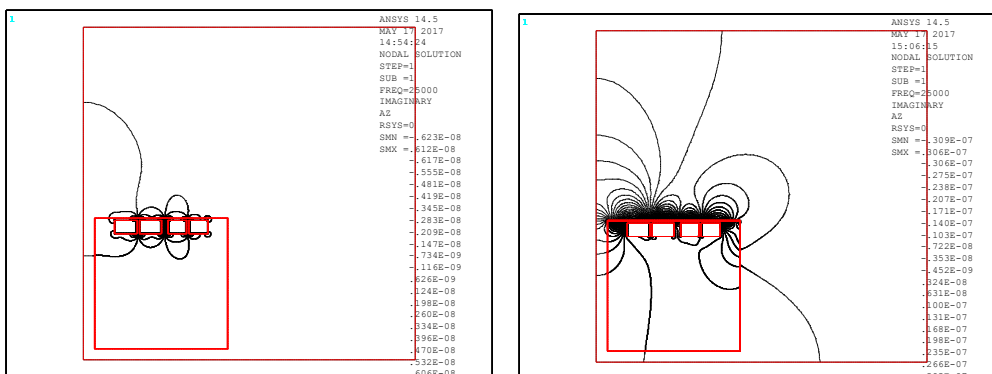
##### A. Riešenie rozloženia magnetického poľa



Obr. 5 Rozloženie magnetického poľa ( $B$ ) v okolí indukčného variča bez tienenia (vľavo) a s tienením (vpravo)



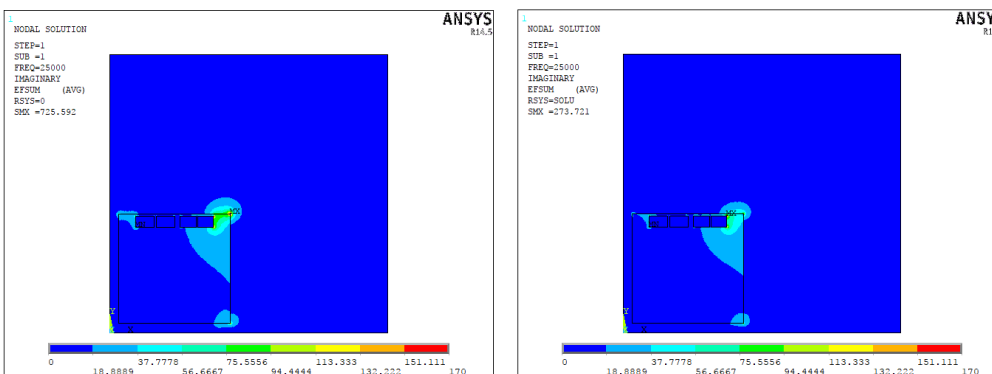
Obr. 6 Grafická závislosť rozloženie magnetickej indukcie ( $B$ ) vo výške indukčných platní v okolí indukčného variča bez tienenia (vľavo) a s tienením (vpravo)



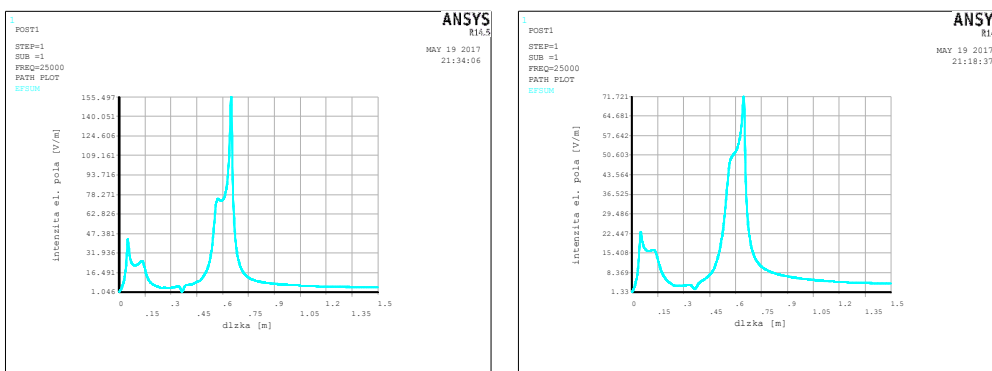
Obr. 7 Rozloženie siločiar magnetického poľa v okolí indukčného variča bez tienenia (vľavo) a s tienením (vpravo)

Po aplikovaní tienenia na model je vidieť, že značné pôsobenie magnetického poľa, šíriace sa do zóny varenia, bolo utlmené (Obr. 5 vpravo). Avšak je vidieť, že pôsobenie mierne vystupuje nad tieniaci materiál. Je to z dôvodu, že tieniaci materiál je dimenzovaný len na určité silné magnetické pole a preto ho neodtlenilo úplne. Ako tieniaci materiál bol použitý Co-Netic AA Perfection Annealed. Jeho materiálové vlastnosti sú vyjadrené v Tab. 1. Grafická závislosť (Obr. 6) bola realizovaná vo výške 645 mm od zeme. Čiže táto výška predstavuje vzdialenosť cca 4 mm od hornej časti indukčnej dosky. V porovnaní so situáciou bez tienenia (Obr. 6 vľavo) a s tienením na (Obr. 6 vpravo), je vidieť, že magnetické pole sa nešíri značne nad indukčné platne. Tieniaci materiál absorboval časť magnetického poľa šíriaceho sa smerom nahor do oblasti varenia. Ten spôsobil to, že vplyvom svojich vlastností a hlavne veľkej permeability a malej rezistivity, pohltil značnú časť magnetického poľa. Taktiež sa zmenšila hodnota magnetickej indukcie, ktorú je vidieť na grafickej závislosti (Obr. 6 vpravo) v porovnaní s prípadom bez tienenia (Obr. 6 vľavo). Týmto zistením sa potvrdila skutočnosť, že pridaním zábrany (tieniaceho materiálu) na zdroj magnetického poľa, klesá veľkosť magnetickej indukcie. Najvyššia hodnota magnetickej indukcie vo výške 645 mm bola  $2,219 \cdot 10^{-4}$  T. Je to hodnota vyššia ako je dovolená limitná hodnota  $6,25 \cdot 10^{-6}$  T, uvedená vo vyhláske 534/2007.

### B. Riešenie rozloženia elektrického poľa



Obr. 8 Rozloženie elektrickej intenzity ( $E$ ) v okolí indukčného variča bez tienenia (vľavo) a s tienením (vpravo)



Obr. 9 Grafická závislosť rozloženie elektrickej intenzity ( $E$ ) vo výške indukčných platiní v okolí indukčného variča bez tienenia (vľavo) a s tienením (vpravo)

V tomto prípade bol použitý tieniaci materiál Yshield HNG 80/66. Mapa pôsobenia elektrického poľa (Obr. 8 vpravo) je podobná v prípade bez tienenia (Obr. 8 vľavo). Maximálna hodnota intenzity elektrického poľa zmenila svoje pôsobenie a to pri navinutej cievke. Hodnota sa ustálila na 273,721 V/m. Ako je vidieť, najvyššia hodnota bola získaná v oblasti, ktorá nezasahuje do priestoru mimo indukčnej dosky a preto nemôže pôsobiť na človeka nepriaznivo. Grafická závislosť (Obr. 9) bola realizovaná vo výške 645 mm od podlahy. Táto výška sa stanovila ako výška, kde človek obsluhuje indukčný varič. Tvar krivky elektrickej intenzity  $E$  (Obr. 9 vpravo), sa mení len minimálne, oproti grafickej závislosti bez tienenia (Obr. 9 vľavo). Avšak je možné zistiť, že dané tienenie odtienilo časť elektrického poľa na hodnotu 71,721 V/m. Táto hodnota je nižšia ako maximálna dovolená hodnota 87 V/m uvedená vo vyhláske 534/2007.

## V. ZÁVER

Úlohou tohto príspevku bolo analyzovať šírenie elektromagnetického poľa v okolí indukčnej varnej dosky a poukázať na možné utlmenie tohto poľa pomocou vhodných tieniacich materiálov. Na návrh tienenia proti vplyvom elektromagnetického poľa je potrebné poznať rozloženie elektromagnetického poľa a až následne navrhnúť vhodné tienenie. Pri dôkladnom návrhu je dôležité vedieť vlastnosti tieniacich materiálov ako je rezistivita, relatívna permitivita alebo relatívna permeabilita. V praxi sa ukazuje, že čím viac vrstiev tieniaceho materiálu sa aplikuje na zdroj elektromagnetického žiarenia, tým je tienenie účinnejšie.

Simuláciou v prostredí ANSYS sa zistilo, že vo výške 645 mm od podlahy indukčného variča (bez tienenia), boli prekročené dovolené hodnoty, ktoré stanovuje vyhláska č. 534/2007 Z.z. V tejto vyhláske je uvedená maximálna dovolená hodnota magnetickej indukcie 6,25  $\mu\text{T}$  a maximálna intenzita elektrického poľa 87 V/m (dovolená nepretržitá dávka za 24 hodín meraná v 6-minútových intervaloch). V prípade bez použitia tienenia, magnetická indukcia  $B$  bola prekročená 94-krát a intenzita elektrického poľa  $E$  bola prekročená 1,7-krát (vo výške 645 mm nad zemou, t.j. 4 mm nad úrovňou indukčnej varnej dosky). Hodnoty magnetickej indukcie dosahovali najvyššie hodnoty kolmo nad indukčnými platňami. Navrhované tienenie pre magnetické pole síce nebolo dostatočné, no dá sa tomu predísť aplikovaním viacerých vrstiev. Avšak pri elektrických poliach bola intenzita elektrického poľa najväčšia na krajoch indukčnej varnej dosky, kedy bola aplikované len jedna vrstva tieniaceho materiálu, ktorá postačovala a vyhovovala vyhláske 534/2007 Z.z.

## POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt Ochrana obyvateľstva SR pred účinkami elektromagnetických polí (ITMS kód: 26220220145), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

## REFERENCIE

- [1] Vyhláska . 534/2007 Zb. Ministerstva zdravotníctva SR zo 16. augusta 2007 o podrobnostiach o požiadavkách na zdroje elmag. žiarenia a na limity expozície obyvateľov elektromagnetickému žiareniu v životnom prostredí.
- [2] Mayer, D.: *Aplikovaný elektromagnetizmus*. Nakladateľství Kopp, České Budějovice 2012.
- [3] Dolník, B.: *Elektromagnetická kompatibilita*, Technická univerzita v Košiciach, december 2013, 240 strán, elfa, s.r.o., ISBN 978-80-8086-221-3.
- [4] *Yshield Shielding Products Miscellaneous*: [online], Available at: < [http://www.safesolution.ro/Technical\\_Details/YSHIELD\\_ShieldingProductsMiscellaneous\\_EN.pdf](http://www.safesolution.ro/Technical_Details/YSHIELD_ShieldingProductsMiscellaneous_EN.pdf) >.
- [5] CELENEC: *Expozícia EMP v pásme vysokých kmitočtu (10 kHz – 300 GHz)*, Bruxelles, CELENEC, 1995, 44 s.)

# Optimalizácia riadiacej jednotky a uzlov UWB radarovej siete na báze Yocto Linuxu

<sup>1</sup>Peter MIKULA, <sup>2</sup>Miloš DRUTAROVSKÝ

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií  
Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach  
Park Komenského 13, 042 00 Košice, Slovenská republika  
<sup>1</sup>študent 2. stupňa štúdia – inžinierske štúdium, <sup>2</sup>vedúci práce

<sup>1</sup>peter.mikula.2@student.tuke.sk, <sup>2</sup>milos.drutarovsky@tuke.sk

**Abstrakt** — Obsahom tohto článku je opis základných súčastí riadiacej jednotky a uzlov UWB radarovej siete, ktorých primárnou úlohou je snímanie impulzových odpovedí z UWB radaru, ich spracovanie a následná vizualizácia výsledkov pre operátora v jednoduchej a prehľadnej forme. Čitateľ sa dozvie o základných softvérových prostriedkoch použitých pri návrhu kľúčových komponentov riadiacej jednotky a spôsobe ich integrácie do Yocto systému optimalizovaného pre cieľovú vstavanú (embedded) platformu. Poskytnutý je aj koncepčný pohľad na modulárnu implementáciu softvérového balíka meracích uzlov radarovej siete ako referenčného bloku pre vývoj komplexnejších programových riešení. V závere je uvedené zhodnotenie dosiahnutých výsledkov a ciele pre nasledujúce etapy vývoja návrhu.

**Kľúčové slová** — UWB radarová sieť, riadiaca jednotka, Yocto, C++

## I. ÚVOD

UWB (Ultra Wide-Band) radar uvádzaný v tomto článku je zariadenie schopné vysielat' a prijímat' signál vo forme M-postupnosti, z ktorej je v ďalšom spracovaní extrahovaná impulzová odpoveď prostredia. Z informácie obsiahnutej v odozve prostredia možno rozhodnúť o prítomnosti, či neprítomnosti cieľa (osoby) v monitorovanom priestore, určiť jeho polohu a sledovať pohyb. UWB radar pritom využíva extrémnu šírku frekvenčného pásma (viac ako 500MHz, alebo viac ako 25% z centrálnej frekvencie) a pre operácie na veľké vzdialenosti (niekoľko desiatok metrov) postačuje výkon maximálne niekoľko jednotiek mW. Vzhľadom na pseudonáhodný charakter generovaného signálu je možné ho použiť aj pri súčasnej prevádzke s inými zariadeniami. Nevýhodou použitia jediného radarového systému sú efekty tienenia, detekcie falošných cieľov pri viacestnom šírení signálu a pod., ktoré sa dajú efektívne riešiť pripojením niekoľkých radarových jednotiek do spoločnej siete, v ktorej centrálny uzol realizuje fúziu dát z celého systému a vďaka redundantnej informácii spresňuje namerané výsledky, či kompletne eliminuje nežiaduce dôsledky už spomínaných javov. Návrh spohľadných softvérových riešení hostujúcich potrebné algoritmy spracovania nameraných dát a výkonnej riadiacej jednotky centrálného uzla je teda kritický a má významný dopad na kvalitu systému ako celku. Riešením je preto špecializovaná vstavaná (embedded) platforma, ktorá bude optimalizovaná výhradne pre účely riadenia UWB radarovej siete.

## II. OPERAČNÝ SYSTÉM UZLOV UWB RADAROVEJ SIETE

Riadiaca jednotka UWB senzorovej siete predstavuje softvérový balík určený predovšetkým pre operátora, ktorý sa zaujíma najmä o informáciu v podobe súradníc určujúcich polohu cieľov (osôb) v monitorovanom priestore. Naproti tomu, meracie uzly radarovej siete realizujú synchronizované merania a zabezpečujú spracovanie impulzových odpovedí z UWB radaru, ktorého výstupmi sú až výsledné pozície cieľov vo formáte [x, y]. Riadiaca jednotka potom v reálnom čase vykoná fúziu dát zo všetkých meracích uzlov, s ktorými komunikuje bezdrôtovým prenosovým kanálom. Po aplikovaní algoritmov sledovania cieľov vizualizuje výsledky pre koncového používateľa. K dispozícii musia byť zároveň aj prostriedky pre manipuláciu s konfiguráciou radarovej siete, vizualizácia používateľského prostredia a pozícií

cieľov v 2D, či 3D zobrazení, ale aj voľba vhodných spôsobov prípadnej archivácie výsledkov. Je zrejmé, že softvérové nástroje tohto uzla je vhodné implementovať na báze flexibilného operačného systému, ktorý však bude spĺňať požiadavky stability a nízkej náročnosti na výpočtový výkon.

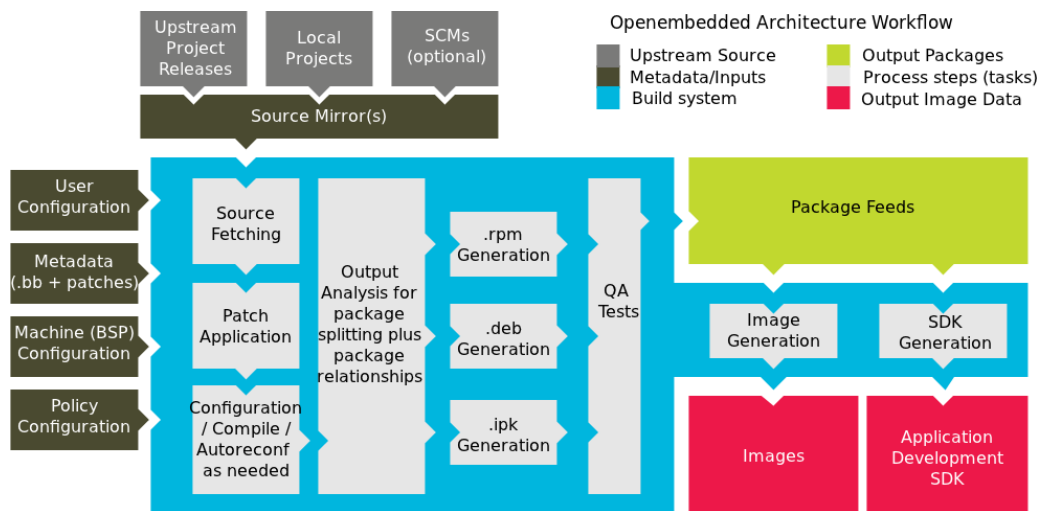
#### A. Yocto projekt

V rámci tejto práce bol pri návrhu vstavaného systému použitý Yocto projekt [1] (odvodený od projektu OpenEmbedded), ktorý poskytuje plnohodnotný súbor kompilačných nástrojov pre tvorbu operačného systému postaveného na báze Linuxu ako aj SDK (software development toolkit) balíka pre tvorbu softvéru určeného pre túto platformu.

Vzhľadom na vysokú popularitu a dobre overené vlastnosti minipočítačov Raspberry Pi 2 (RPI 2) a Raspberry Pi 3 (RPI 3), boli práve tieto zvolené ako základne pre nasadenie a test prvých verzií riadiacej jednotky a meracích uzlov. Kompilácia systému pre tieto dosky si vyžaduje konfiguráciu BSP (Board support package) vrstvy [1][2] v našej inštancii projektu Yocto na hosťovskom systéme (hosťovským systémom môže byť ľubovoľný počítač s operačným systémom Debian/Ubuntu, Fedora, OpenSUSE, alebo CentOS). Yocto projekt dáva k dispozícii celú vrstvu na svojom oficiálnom git serveri. Je závislá iba na vrstvách *poky*, *meta-oe* prípadne *meta-multimedia*, čo sú základné vrstvy jadra projektu Yocto a teda je kompatibilná prakticky s každou verziou projektu (tie sú vydávané v 6 - mesačných cykloch, v čase písania tohto článku bola najaktuálnejšou verziou Yocto Core – Morty 2.2). Pri kompilácii systému udeľuje *meta-raspberrypi* BSP podporu pre nasledujúce kategórie dosiek:

- raspberrypi
- raspberrypi0
- raspberrypi2
- raspberrypi3
- raspberrypi-cm (alias pre raspberrypi)
- raspberrypi-cm3 (alias pre raspberrypi2)

Vrstva ďalej definuje niekoľko predkonfigurovaných profilov obrazov, ktoré približne kopírujú základnú funkcionálnu integrovanú v populárnom systéme *Raspbian*. Tieto predkonfigurované obrazy (*rpi-hwup-image*, *rpi-basic-image* a *rpi-test-image*) boli použité iba v rámci prvotného ladenia. Princíp kompilácie systému je ilustrovaný na obrázku Obr. 1.



Obr. 1 Reťazec kompilácie linuxu v projekte Yocto [7]

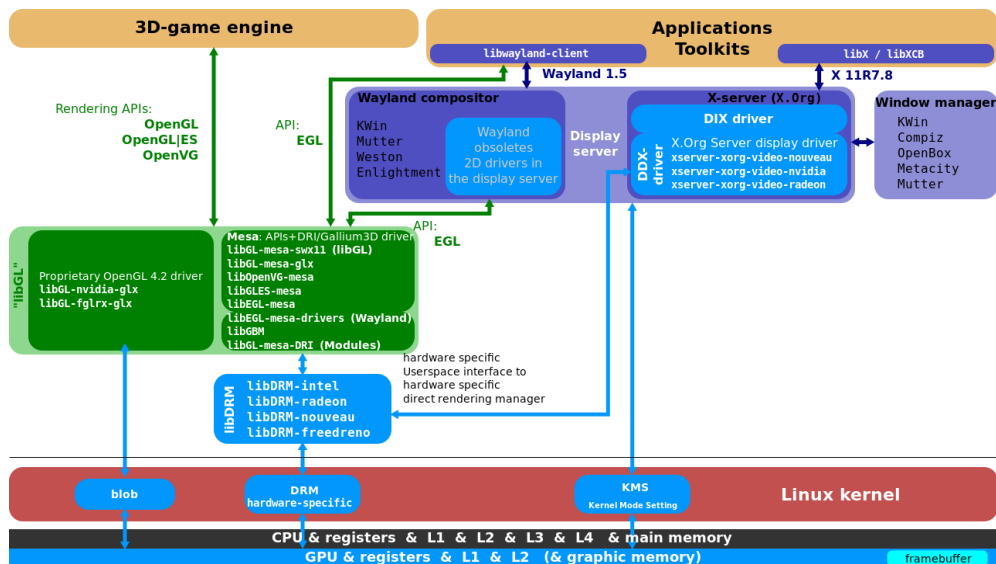
Je zrejmé, že proces tvorby výsledného obrazu je výpočtovo náročná operácia, preto je vhodné realizovať túto činnosť na výkonnom hardvéri. Pre kompiláciu linuxového systému s podporou Wayland protokolu a Weston kompozitora bol napríklad použitý server s procesorom Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2670 0 @ 2.60GHz (8 paralelných kompilácií) a operačnou pamäťou 8 GB pričom časové rozpätie všetkých krokov kompilácie bolo približne 45 minút. Pre porovnanie, na notebooku Lenovo ThinkPad s procesorom AMD A8-7100 1.8 GHz (4 paralelné kompilácie) a 8GB operačnej pamäte trvala podobná konfigurácia až 18-20 hodín.

### B. Embedded linux s podporou knižnice Qt, protokolu Wayland a kompozitora Weston

Jednou z kľúčových úloh centra fúzie dát v UWB radarovej sieti je vizualizácia výsledkov pre operátora v jednoduchom grafickom používateľskom prostredí. Tvorba používateľského prostredia sa dá efektívne riešiť frameworkom Qt, ktorý je napísaný v programovacom jazyku C++ a poskytuje cezplatformové knižnice pre tvorbu plnohodnotných GUI rozhraní.

Od roku 2013 sa developéri Qt frameworku aktívne zapojili aj do tvorby vlastnej vrstvy podporujúcej Qt [9] vo vstavaných systémoch na báze Yocto. Boli vytvorené vrstvy *meta-qt5* a *meta-boot2qt*, ktoré sú momentálne k dispozícii na ich oficiálnom git repozitári. Možná je aj kompilácia niektorých predtým komerčných modulov [6] (*Qt Virtual Keyboard*, *Qt Charts* a *Qt Data Visualization*). V čase písania tohto článku je vrstva *meta-qt5* kompatibilná s verziami 1.5, 1.6, 1.7 a 1.8 projektu yocto (Qt 5.7). Oficiálne je tiež zabezpečená i podpora pre všetky dostupné RPI dosky.

Pre tvorbu plnohodnotného používateľského rozhrania je dôležitá voľba spôsobu komunikácie užívateľskej aplikácie s prostriedkami pre prístup ku grafickému hardvéru. V rámci prvých pokusov o tvorbu vizualizačnej jednotky bol pre dosku RPI 2 skompilovaný Qt program realizujúci zobrazovanie softvérovým 2D renderovacím jadrom. Efektivita tejto implementácie však nebola postačujúca najmä pri aktualizácii väčšej scény v reálnom čase a interakcii používateľa s 2D scénou. Pri monitorovaní priestoru aspoň tromi radarmi je navyše možné vizualizovať pohyb osôb v 3D zobrazení, kde je už hardvérová akcelerácia takmer nevyhnutná. Spôsob komunikácie klientskej aplikácie s GPU je ilustrovaný na Obr. 2.



Obr. 2 Prístup klientskej aplikácie ku grafickému hardvéru [8]

V súčasnosti sa ako najvhodnejšia alternatíva javí práve protokol Wayland [5], ktorý umožňuje klientskej aplikácii presmerovať svoje renderovacie požiadavky na tzv. kompozitor, ktorý následne vygeneruje reťazec príkazov pre DRM (Direct Rendering Manager), ktorý funguje v pozícii API rozhrania pre prístup ku GPU na úrovni kernelu a zároveň riadi súbežný prístup v prípade behu viacerých aplikácií využívajúcich grafický hardvér súčasne.

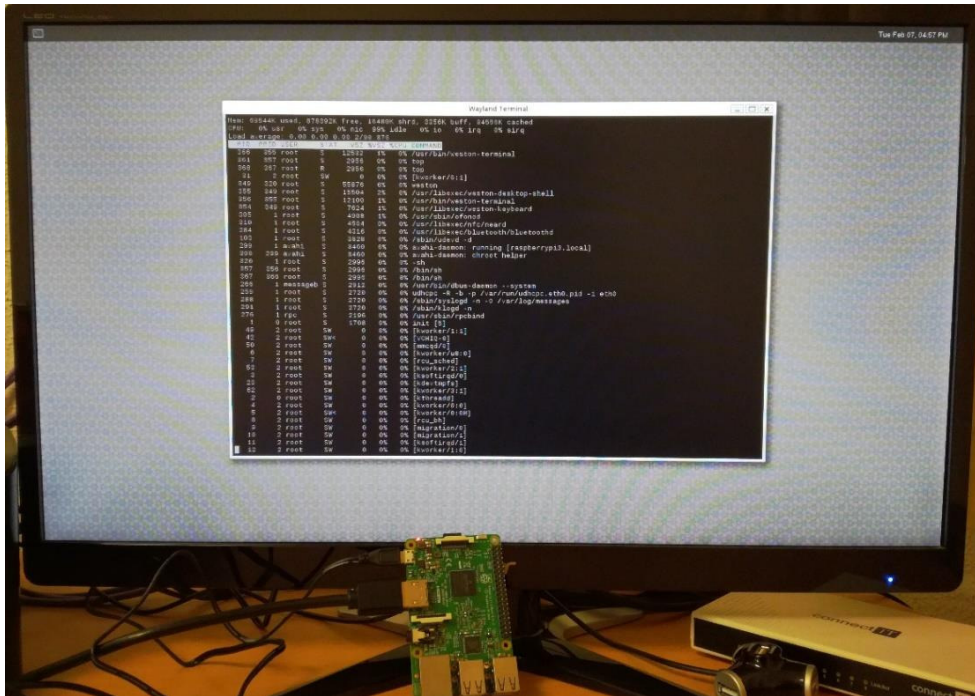
Kompilácia takéhoto systému na báze Yocto bola zrealizovaná na doske RPI 3. V čase písania tohto článku a kompilácie uvedeného systému s verziou Yocto Morty 2.2 však vzniká problém s konfiguráciou:

```
DISTRO_FEATURES_remove = " x11"
DISTRO_FEATURES_append = " wayland openssl"
CORE_IMAGE_EXTRA_INSTALL += "libdrm wayland weston"
```

Aj keď konfigurácia správne identifikuje inštaláciu potrebných balíkov, ďalšia konfigurácia v súbore *weston\_1.9.0.bb* chybne zadefinuje inštaláciu KMS (Kernel Mode Setting) modulu vzhľadom k oddeleniu X11, čo vedie ku kritickej chybe a neúspešnej kompilácii. Ako aj vyplýva z Obr. 2, nastavenia módu (rozlíšenia obrazovky, farebnej hĺbky, obnovovacej frekvencie) sú realizované z *userland* priestoru.



Identické správanie bolo pozorované aj v starších generáciách Yocto projektu (napr. *Krogoth*). Použitím jednoduchého patch súboru je možné ľahko odstrániť *kms* nastavenie z uvedenej konfigurácie. Inou, veľmi výhodnou variantou pre vykresľovanie grafického prostredia je implementačné riešenie založené na plugine EGLFS Qt frameworku, ktoré nepotrebuje žiadny oknový systém pre spúšťanie GUI a renderuje grafické prostredie priamo do framebufferu (viď. Obr. 2). Poskytuje však možnosť spúšťania iba jednej GUI aplikácie v plnom rozlíšení. Toto obmedzenie je však zvyčajne naopak výhodou vo vložených systémoch a pre aplikácie vizualizačných uzlov UWB radarovej siete nepredstavuje problém. Pri kompilácii Yocto Linuxu v takejto konfigurácii je potom potrebné odstrániť akékoľvek závislosti na protokole Wayland či X11.



Obr. 3 Linux na Raspberry PI 3 skompilovaný projektom Yocto s podporou Wayland/Weston

### III. TVORBA SOFTVÉROVÉHO JADRA UZLOV RADAROVEJ SIETE

Vzhľadom na potrebu jednoduchej aktualizácie programu novými knižnicami matematického spracovania, či nevyhnutnosti modifikovať program pre inštaláciu aj v obmedzenom formáte (napr. koncentrátor dát – algoritmy renderovania obrazu nie sú potrebné), bol zvolený prístup pre implementáciu modulárneho mechanizmu [4]. Jednotlivé moduly možno realizovať formou zdieľaných (.so/.dll) knižnic a ľahko aktualizovať v prípade zmien. Umiestnenia a názvy modulov sú pritom preddefinované v externom konfiguračnom súbore, ktorý je prečítaný jadrom aplikácie. Konfiguračný súbor je v textovom formáte a možno ho teda ľahko editovať používateľom.

#### A. Rozhranie pre vývojárov

Celá knižnica je implementovaná v jazyku C++ a tvorba nového modulu vyžaduje dedičnosť predpripravených tried *ModEntry* a *SlotHolder*. Tieto poskytujú programu rozhranie pomocou ktorého môže jadro aplikácie komunikovať s modulom a zároveň prostriedok pre možnosť komunikácie modulu s ostatnými modulmi v programe prostredníctvom predpripravených kanálov (dátových slotov). Trieda *ModEntry* obsahuje štyri virtuálne funkcie, ktoré je nutné zdefinovať vývojárom daného modulu:

- *alloc( load\_id, base\_id, slotslist, log\_global )* – funkcia určená na alokáciu objektu (modulu) vracajúca smerník na objekt typu *ModEntry*. Parameter *load\_id* je predaný ako vstupný parameter konštruktora objektu a je unikátny po každom spustení programu zatiaľ čo *base\_id* poskytuje index v reťazci práve spúšťaných modulov (pre rovnakú konfiguráciu modulov je vždy rovnaký). Parameter *slotslist* dáva k dispozícii zoznam dátových slotov, ktoré môže modul používať na ukladanie, čítanie dát a komunikáciu s ostatnými modulmi. Posledný parameter, *log\_global*, slúži k prístupu do centrálného logovacieho systému, ktorý je spoločný pre všetky moduly.
- *Run()* – funkcia musí obsahovať kód, ktorý má byť vykonávaný v pravidelných periodických intervaloch. Nesmie obsahovať nekonečnú slučku, keďže do tej je

vložená jadrom programu automaticky spolu s kontrolným indikátorom, ktorý je aktualizovaný po ukončení funkcie *Run()* a jeho stav je periodicky overovaný jadrom za účelom detekcie chýb a oneskorení.

- *Init()* – inicializačná funkcia má za úlohu nastaviť vnútorné stavy modulu pred jeho uvedením do prevádzky. Funkcia je automaticky volaná z jadra programu.
- *DeInit()* – funkcia je automaticky zavolaná jadrom programu. Jej primárnym cieľom je uvoľnenie pamäte alokovanej v rámci modulu avšak vývojár môže implementovať dodatočné procedúry vyžadované pre korektné ukončenie modulu.

Uvedené funkcie predstavujú API, ktoré musí byť správne implementované aby bol program schopný korektné modul zaregistrovať a spustiť. V kontexte *Run()* funkcie však môže vývojár implementovať ľubovoľný obsah v jazyku C/C++.

### B. Komunikácia medzi modulmi

Základným stavebným prvkom jadra programu je mechanizmus dátových slotov, ktoré slúžia ako hlavný prostriedok komunikácie medzi modulmi navzájom. Nakoľko moduly sú separované do samostatných *.so/.dll* knižníc, nie je možné vytvoriť zdieľané položky priamo. Vývojár konkrétneho modulu by navyše nemal mať k dispozícii prístup k zdrojovým súborom iných modulov nakoľko tie môžu byť vybavené proprietárnymi knižnicami, ktorých licencie nedovoľuje ich voľnú distribúciu. Jedným z príkladov môže byť aj ovládač k samotnej radarovej jednotke pripojenej k uzlu siete.

Ďalším prvkom dátových slotov je krytie určitých údajov, ktoré slúžia výhradne pre komunikáciu, či synchronizáciu vybraných modulov pred externým zásahom z iných modulov. Príkladom je napríklad systémová konfigurácia, ku ktorej by mal mať prístup iba centrálny modul, alebo komunikačné rozhrania medzi centrálnym modulom a modulom vo funkcii manažmentu radarovej siete. Modifikácia týchto premenných neautorizovaným modulom môže viesť k neočakávaným výsledkom, alebo až kritickej chybe programu. Túto myšlienku samozrejme možno zovšeobecniť na všetky moduly a procesy v programe. Vzhľadom na uvedené skutočnosti bol do programu zavedený jednoduchý mechanizmus overovania „identity“ modulu, rozsahu oprávnení (čítanie, zápis, alebo oboje) a riadenia prístupu k dátovým slotom.

### C. Údajové typy zdieľaných dát

Pri narastajúcom počte modulov, alebo tvorby ich nových verzií bude vznikáť potreba registrácie nových dátových slotov, ktoré môžu byť najrozličnejších typov. Okrem štandardných údajových typov jazyka C (*int*, *double*, *float*, ...) môžeme uvažovať aj o komplexných štruktúrach, či triedach jazyka C++. Aby bolo možné tieto položky spravovať centrálné, bolo nevyhnutné využiť šablónovú štruktúru C++. Všetky dátové sloty sú inicializované staticky, kompiláciou jadra programu, čím sa vytvoria zároveň potrebné varianty obslužných funkcií a tried. Tento prístup je v kontexte C++ označovaný ako tzv. „template meta-programming“ a spočíva v automatickom vygenerovaní potrebného kódu vo fáze kompilácie programu [3]. Ak chceme napríklad vytvoriť slot pre distribúciu vypočítaných pozícií cieľov, musíme zároveň vygenerovať aj kód pre obslužné triedy riadiace prístup k spoločnej pamäti:

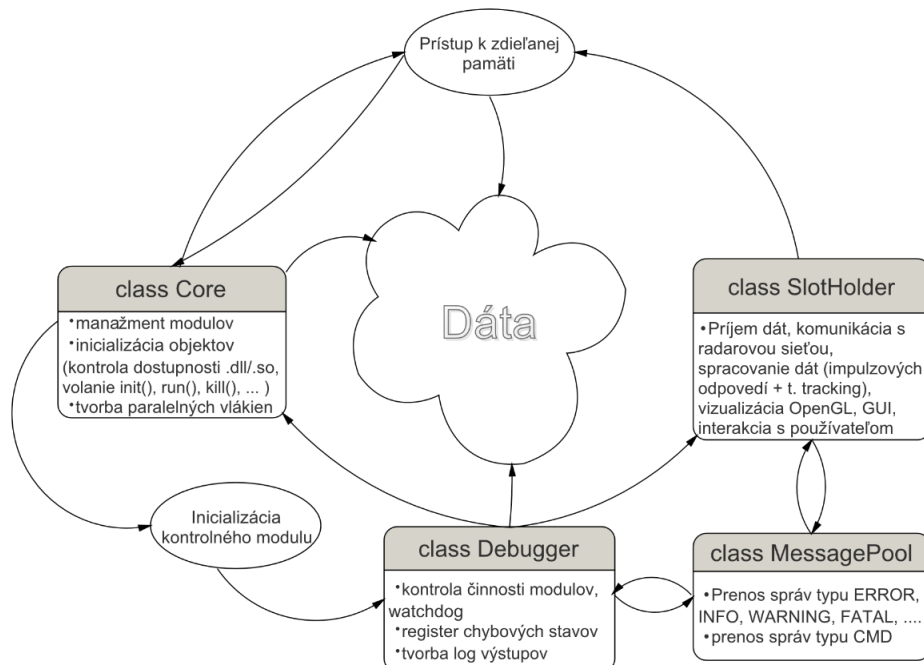
```
// std::vector< int > type preinstantiation
template class SlotHandler<std::vector<int>>;
template class DataHandler<std::vector<int>>;
// std::vector< int > type slots preinstantiation
template class __declspec(dllexport) __SlotDesc<std::vector<int>,
slots::SLOT_2D_MTT_RESULTS >;
template class __declspec(dllexport) SlotHolder<__SlotDesc<std::vector<int>,
slots::SLOT_2D_MTT_RESULTS >>;
```

Použitie konkrétneho slotu potom spočíva v kompilácii modulu s parametrom šablóny v tvare:

```
module<slotholder::__SlotDesc<std::vector<int>,slots::SLOT_2D_MTT_RESULTS>>test();
```

Prístup k dátam je následne priamočiary a bezpečný aj pri viacvláknových aplikáciách nakoľko ich synchronizácia je vykonaná automaticky za API rozhraním prístupnom používateľovi. Ďalšou výhodou je priamy prístup ku každému slotu zvlášť a nedochádza k zbytočnému

obmedzovaniu všetkými modulmi navzájom. Ak napríklad do slotu *SLOT\_2D\_MTT\_RESULTS* budú zapisovať, resp. z neho čítať iba dva moduly, jedine tieto dva si budú vzájomne konkurovať pri prístupe k danému slotu a nebudú ovplyvnené inými modulmi v programe, čo je dôležitý aspekt pre aplikácie fungujúce v reálnom čase. Tento fakt je dôležitý obzvlášť v prípadoch, ak moduly pracujúce s určitými dátovými blokmi vykonávajú komplexné rutiny, čím obmedzujú ostatné súčasti systému v ďalšej činnosti blokováním príslušných slotov, na ktorých tieto rutiny intenzívne operujú.



Obr. 4 Princiálne rozdelenie úloh v jadre riadiacej jednotky

#### IV. ZHODNOTENIE

Modulárne jadro uzlov UWB radarovej siete je kritickým blokom programu. Spôsob realizácie zdieľanej pamäte a synchronizácie modulov vo veľmi výraznej miere ovplyvní rýchlosť a kvalitu výstupnej aplikácie. Keďže radarová sieť je ešte v čase písania tohto článku vo fáze vývoja, potreba manipulácie so synchronizačnými mechanizmami, výmena konkrétnych modulov za novšie verzie, či možnosť odstavenia určitých súčastí programu pre testy na výpočtovo limitovaných platformách sú predpokladateľné požiadavky. Ak sa systém preukáže dostatočne stabilný a flexibilný za prijateľnej komplexnosti pri jeho údržbe, môže sa program stať univerzálnym prepájacím článkom medzi modulmi zberu dát, matematického spracovania, vizualizácie, ale aj prípadných ďalších modulov, ktorými by sa mohla funkcionálnosť systému rozšíriť.

#### POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-15-0692.

#### LITERATÚRA

- [1] Gonzalez, A. (2015). *Embedded Linux Projects Using Yocto Project Cookbook*. S.l.: S.n.
- [2] Salvador, O., & Angolini, D. (2014). *Embedded Linux development with Yocto Project: develop fascinating Linux-based projects using the groundbreaking Yocto Project tools*. Birmingham: Packt publishing.
- [3] Vandevoorde, D., & Josuttis, N. M. (2003). *C templates: the complete guide*. Boston: Addison-Wesley.
- [4] Oualline, S. (1997). *Practical C programming*. Cambridge: O'Reilly & Associates.
- [5] The What Why and How of Wayland and Weston on Linux. (2013, August 09). Dostupné Feb. 09, 2017, na <https://www.linux.com/news/what-why-and-how-wayland-and-weston-linux>
- [6] Aligning with the Yocto Project. (2016, July 05). Dostupné Feb. 09, 2017, na <http://blog.qt.io/blog/2016/07/01/aligning-with-the-yocto-project/>
- [7] Yocto Project Mega-Manual. (n.d.). Retrieved February 09, 2017, from <http://www.yoctoproject.org/docs/1.8/mega-manual/mega-manual.html>
- [8] Otto, S. C., Traian. (2013, August 24). Linux Graphics Stack [Digital image]. Retrieved February 9, 2017, from [https://en.wikipedia.org/wiki/Mode\\_setting#/media/File:Linux\\_Graphics\\_Stack\\_2013.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Mode_setting#/media/File:Linux_Graphics_Stack_2013.svg)
- [9] Rischpater, R. (2014). *Application development with Qt creator: design and build dazzling cross-platform applications using Qt and Qt Quick*. Birmingham, UK: Packt Publishing.

# Prediktívna Analýza Dát o Dopravných Incidentoch

*František BABIČ, Andrea KMECOVÁ*

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Technická univerzita v Košiciach

frantisek.babic@tuke.sk, andrea.kmecova@student.tuke.sk

**Abstrakt** — Dopravné incidenty predstavujú významný faktor úmrtnosti na celom svete. Je dôležité povedať, že ich príčiny môžu byť nielen všeobecného charakteru, ale často na ich vznik vplývajú aj lokálne podmienky a zákonitosti. My sme sa rozhodli analyzovať voľne dostupnú vzorku dát z mesta Leeds v Anglicku. Pôvodný dataset obsahoval viac ako 18 tisíc záznamov, z ktorých každý bol charakterizovaný 15 atribútmi. Naším cieľom bolo vytvoriť predikčné modely, ktoré by s dostatočnou presnosťou klasifikovali jednotlivé incidenty do dvoch cieľových kategórií atribútu vážnosť zranenia: 1 – ľahko zranený, 0 – vážne zranený alebo úmrtie. Na tento účel sme použili viacero metód ako rozhodovacie stromy, Bayesov klasifikátor, k-najbližších susedov alebo asociačné pravidlá. Najvyššiu presnosť 88.77% sme dosiahli pomocou algoritmu C4.5.

**Kľúčové slová** — dopravný incident, strojové učenie, pravidlá

## I. ÚVOD

Dopravné nehody sú veľkým problémom na celom svete. Podľa informácií Svetovej zdravotníckej organizácie (WHO) z roku 2015 [1] zomrie pri dopravných nehodách 1,25 milióna ľudí ročne, pre ľudí od 15 do 29 rokov sú hlavnou príčinou úmrtia. Najvyššiu úmrtnosť má na cestách Afrika, naopak najnižšiu úmrtnosť na cestách má Európa. Zomierajú nielen vodiči áut, ale 49% obetí sú chodci, cyklisti a vodiči motocyklov. Čo sa týka pohlavia, tak až ¾ úmrtí tvoria muži.

Keďže informácie o dopravných nehodách predstavujú zaujímavý zdroj dát na analytické účely, môžeme zistiť, na akých úsekoch, za akých podmienok, alebo v akom čase dochádza k nehodám a na základe týchto informácií spraviť príslušné opatrenia a zmeny na cestách.

### A. Analýza Súčasného Stavú

Bahram Sadeghi Bigham vo svojom článku [2] analyzuje, ako zisťovanie príčin dopravných nehôd predchádza ich vzniku. Súbor dát použitý v tejto práci pochádza z The UK Data Archive a bol zhromaždený oddelením dopravy v Anglicku v roku 2009. Zaznamenané údaje obsahujú deň v týždni, mesiac, typ cesty, rýchlosť vozidla, svetelné podmienky, poveternostné podmienky, podmienky na ceste, typ a polohu vozidla, časť vozidla, kde došlo k nárazu, údaje o vodičovi – pohlavie a vek, počet zranených a závažnosť zranenia. Dátový súbor obsahuje 4382 záznamov. Cieľovým atribútom je atribút „Vážnosť Zranenia“, ktorý obsahuje 3 hodnoty: fatálny, vážny a mierny stav. Na analýze sa autor zameril na dolovanie asociačných pravidiel pomocou podporného nástroja WEKA. Výsledkom bol súbor pravidiel ohodnotených spoľahlivosťou a liftom.

O. Akinbola vo svojej práci [3] predikoval pravdepodobnosť dopravnej nehody na diaľniciach v Lagos v Nigérii. Na tento účel použil opäť softvérový nástroj WEKA a metódu rozhodovacích stromov. Experimentoval s viacerými algoritmami na generovanie rozhodovacích stromov a najlepší výsledok dosiahol pomocou algoritmu ID3 s výslednou presnosťou 77.70% (115 správne klasifikovaných a 33 nesprávne klasifikovaných prípadov).

Poslednou porovnávanou prácou je výskumný projekt [4], ktorý analyzoval rovnakú dátovú vzorku ako my. Dáta o dopravných nehodách pochádzajú z mesta Leeds a obsahujú údaje od roku 2009 po rok 2015. Celý dataset obsahuje 18 886 záznamov a zahŕňa nasledujúcich 15 atribútov: Referenčné číslo, GPS súradnice, počet vozidiel, dátum nehody, čas nehody, typ cesty na ktorej došlo k nehode, povrch vozovky, svetelné podmienky, poveternostné podmienky, typ vozidla, zaradenie obete, vážnosť zranenia, pohlavie a vek obete. Cieľovým

atribútom je vážnosť zranenia obeť, teda či obeť zomrela alebo prežila. Autor využíva tri metódy dolovania: rozhodovacie stromy, Naivný Bayesovský klasifikátor a združené metódy - Bayes Boosting. Autor taktiež riešil nerovnováhu dát a na ich vybalansovanie používal rôzne techniky, napr. podvzorkovanie (angl. random over sampling) a nadvzorkovanie (angl. random under sampling). Najlepší výsledok 78.3% dosiahol pomocou rozdelenia dát v pomere 70:30, 10-násobnej krížovej validácie, stratifikovaného rozdelenia a aplikácie vylepšenie verzie Bayesovského klasifikátora prostredníctvom boostingu.

### *B. Metódy*

Úlohy dolovania v dátach majú široké spektrum využiteľnosti v rôznych oblastiach. Preto je potrebné použiť správne a efektívne metódy na konkrétne riešenie v danej oblasti. Medzi základné metódy patria rozhodovacie stromy, asociačné pravidlá, umelé neurónové siete, regresná analýza, bayesov klasifikátor, zhluková analýza, alebo genetické algoritmy.

Rozhodovacie stromy patria medzi najobľúbenejšie a najpoužívanejšie techniky, keďže sa dajú rýchlo vyhodnotiť a veľmi ľahko interpretovať [5]. Princípom je rozdeliť veľký súbor dát na menšie súbory na základe množiny pravidiel. Na to je potrebné vytvoriť si tréningovú množinu objektov, pri ktorej poznáme hodnotu hľadanej triedy. Rozhodovací strom môžeme prezentovať v grafickej štruktúre vo forme stromu, ktorý obsahuje štyri základné prvky: koreň, listy, vnútorné uzly a orientované hrany. Koreň a vnútorné uzly reprezentujú triedu, teda konkrétny atribút. Hrany obsahujú predikáty, ktoré môžeme aplikovať na daný atribút.

K–najbližších susedov (angl. K-nearest neighbours) je metóda, ktorá o zaradení do skupín rozhoduje prostredníctvom porovnávania podobných prípadov [6]. V každej triede sa určí počet prípadov a nový prípad sa priradí práve do tej triedy, kde je počet podobných prípadov najväčší.

Bayesov klasifikátor nám určuje pravdepodobnosť, že príklad patrí do danej triedy. Túto pravdepodobnosť určuje na základe podmienených pravdepodobností hodnôt atribútov pre rôzne triedy. Pri Naivnom Bayesovskom klasifikátore sa predpokladá, že atribúty sú medzi sebou nezávislé [7].

Asociačné pravidlá sú známe vďaka analýze nákupného košíka. Vďaka týmto pravidlám získavame pekný obraz o vzťahoch medzi jednotlivými atribútmi v množine dát. Výsledky sa interpretujú ľahko vďaka jednoduchej IF THEN forme. Kľúčovým algoritmom na generovanie asociačných pravidiel je Apriori, ktorý navrhol R. Agrawal [8]. Jeho princípom je vybrať len vysoko početné položky, ktoré budú ďalej použité na vytvorenie dvoj-položkových množín. Tieto dvoj-položkové množiny sa následne použijú na tvorbu troj-položkových množín, atď. až po množinu ktorá obsahuje najviac nakupované položky a spĺňa preddefinované hranice pre minimálnu podporu a spoľahlivosť.

CRISP-DM predstavuje najpoužívanejšiu metodiku v oblasti dolovania v dátach. Je založená na 6 základných fázach: Pochopenie cieľa sa zameriava na pochopenie obchodných alebo iných cieľov z manažérskeho pohľadu, ktoré sa následne pretransformujú na úlohy pre proces dolovania v dátach. Definujú sa kritéria úspešnosti a hodnotia sa možné riziká, náklady a prínos projektu. Pochopenie dát - prebieha prvotný zber dát, s ktorými sa bude pracovať počas projektu. Spraví sa prehľadný popis dát, zistíme charakteristiky atribútov (minima, maxima, priemerné hodnoty), ich kvalitu, množstvo, chýbajúce hodnoty a pod. Využívajú sa aj rôzne vizualizačné techniky a štatistika. Príprava dát –vyberáme si vhodné dáta, prebieha ich čistenie, transformácia, selekcia, integrácia, formátovanie dát a mnoho ďalších úkonov, ktoré vedú k vytvoreniu množiny dát pre následné spracovanie. Operácie vykonávané v tejto fáze sa často opakujú, kým nedôjde k požadovanému výsledku. Modelovanie – na vytvorenú množinu dát aplikujeme metódy strojového učenia. Keďže existuje mnoho metód (napr. rozhodovacie stromy, asociačné pravidlá), je potrebné vybrať čo najvhodnejšie, čomu predchádza mnoho experimentov. Vybrané metódy sa aplikujú na tréningovú množinu a dosiahnuté výsledky sa testujú na tréningovej množine. Druhou možnosťou je použitie 10-násobnej krížovej validácie. Na konci modelovania sa overí a prekonzultuje aj funkčnosť a zmysluplnosť objavených znalostí. Vyhodnotenie výsledkov – z obchodného pohľadu a pôvodných cieľov, ktoré boli formulované pri zadaní projektu. Prebieha kontrola, či sa na niečo nezabudlo a aké sú ďalšie kroky, alebo či sa prejde do fázy nasadenia, alebo sa projekt ukončí v tejto fáze. Nasadenie – vypracuje sa plán nasadenia výsledkov do praxe. Je potrebné zabezpečiť trvalú kvalitu dosiahnutých výsledkov a to monitorovaním a údržbou. Taktiež sa celý projekt vyhodnotí a napíše sa záverečná správa.

## II. ANALYTICKÝ PROCES PODĽA CRISP-DM

### A. Pochopenie Cieľa

Cieľom práce je analyzovať dáta o dopravných incidentoch a na základe získaných znalostí a skúseností vytvoriť webovú aplikáciu, pomocou ktorej bude možné tento proces v budúcnosti viac automatizovať. Z pohľadu dolovania v dátach hlavným cieľom je riešiť klasifikačnú úlohu doplnenú o deskriptívnu analýzu pomocou asociačných pravidiel. Naš analytický proces bude úspešný, ak dosiahneme výsledky lepšie minimálne o 5% ako v existujúcich prácach.

### B. Pochopenie Dát

Pôvodný dataset obsahoval 18 886 záznamov charakterizovaných 15 atribútmi zobrazenými v tabuľke 1. Tento dataset predstavuje dáta o dopravných incidentoch od roku 2009 po rok 2015 v meste Leeds na území Anglicka.

Tabuľka 1  
Zoznam atribútov

Pôvodný názov	Typ	Popis
Reference.Number	numerický	Unikátna hodnota
Grid.Ref:Eastng	numerický	Hodnota predstavujúca GPS súradnicu
Grid.Ref:Norhing	numerický	Hodnota predstavujúca GPS súradnicu
Number.Of.Vehicles	numerický	Hodnoty v rozpätí od 1 do 14
Accident.Date	dátum	Dátum incidentu
Time..24hr	numerický	Čas incidentu
Ist.Road.class	nominálny	Hodnoty v rozpätí od 1 do 6
Road.Surface	nominálny	Hodnoty v rozpätí od 1 do 9
Lighting.Conditions	nominálny	Hodnoty v rozpätí od 1 do 6
Weather.Conditions	nominálny	Hodnoty v rozpätí od 1 do 10
Casualty.Class	nominálny	Hodnoty v rozpätí od 1 do 4
Casualty.Severity	nominálny	Hodnoty v rozpätí od 1 do 3 (cieľový atribút)
Sex.Of.Casualty	nominálny	Hodnoty v rozpätí od 1 do 2
Age.Of.Casualty	numerický	Hodnoty v rozpätí od 1 do 98
Type.of.Vehicle	nominálny	Hodnoty v rozpätí od 1 do 18

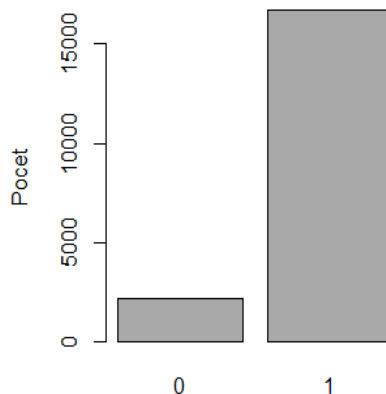
Prvotná analýza týchto dát priniesla nasledovné zistenia:

- Atribúty *Grid.Ref:Eastng* a *Grid.Ref:Norhing* sú generované na ceste, kde došlo k nehode. V rámci našich experimentov sme tieto atribúty zanedbali, ale využili by sme ich v prípade, ak by bolo cieľom vytvoriť interaktívnu mapu nehodovosti pre dané mesto.
- V atribúte *Ist.Road.class* je 48.6% záznamov typu „Unclassified“, 37.4% záznamov je typu „A“ a zvyšné percentá sú rozdelené medzi typy „A(M)“, „B“, „C“ a „Motorway“.
- V atribúte *Road.Surface* je 73.8% záznamov typu „Dry“, 24% záznamov je typu „Wet/Damp“ a zvyšné percentá sú rozdelené medzi typy „Flood“, „Frost/Ice“ a „Snow“.
- Z atribútu *Lighting.Conditions* je zrejmé, že väčšina nehôd bolo spôsobených cez deň. 70% záznamov je typu „Daylight: street lights present“.
- V atribúte *Weather.Conditions* je 86.5% záznamov typu „Fine without high winds“, ďalšia najbližšia hodnota je až 8.6% typu „Raining without high winds“.
- V atribúte *Casualty.Class* je 58% záznamov typu „Driver/Rider“, 28% záznamov je typu „Passenger“ a 14% typu „Pedestrian“.
- V atribúte *Sex.Of.Casualty* predstavuje počet obetí mužského pohlavia 40.7% a počet obetí ženského pohlavia 59.3%.
- Atribút *Type.of.Vehicle* obsahoval veľa odlišných, no zároveň podobných hodnôt, napr. hodnoty „Motorcycle 50cc and under“, „Motorcycle over 50cc and up to 125cc“, „Motorcycle over125cc and up to 500cc“, „Motorcycle over 500cc“ a „Motorcycle - Unknown CC“ by bolo vhodné spojiť to jedného atribútu a to Motorcycle.

### C. Príprava dát

V rámci prípravy dát sme realizovali niekoľko operácií s cieľom zlepšiť kvalitu dát a pripraviť ich na aplikáciu vybraných metód v ďalšej fáze. V dátach z rokov 2014 a 2013 bolo niekoľko stĺpcov navyše a niektoré boli pomenované inak ako pri iných rokoch. Tieto odlišnosti

sme vyriešili, aby sme mohli dáta integrovať do jednej dátovej množiny. Pre účely našich experimentov sme nepotrebovali atribúty popisujúce lokalitu daného incidentu, preto sme ich vynechali. Atribút reprezentujúci dátum sme transformovali na tri nové atribúty popisujúce rok, mesiac a deň dopravného incidentu. Rovnako sme postupovali aj pri atribúte čas, ktorý sme transformovali na hodiny a minúty. Pri viacerých nominálnych atribútoch ako povrch vozovky, svetelné podmienky alebo počasie sme hodnoty mimo kontextu nahradili percentuálne najčastejšie vystupujúcou hodnotou. Cieľový atribút sme transformovali na binárny, kde hodnota 1 reprezentovala dopravný incident len s ľahkými zraneniami a hodnota 0 s vážnymi následkami, aj smrťou (obr.1). Numerický atribút vek sme diskretizáciou transformovali na nominálny v predefinovaných vekových kategóriách (1-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90 a 90-100). Pri atribúte popisujúcom typ vozidla sme agregovali niektoré hodnoty z pôvodnej množiny, napr. niekoľko typov motocyklov.



Obr. 1 Histogram cieľového atribútu.

Nakoniec sme aplikovali na dáta vybrané štatistické testy s cieľom overiť potenciálne existujúcu závislosť medzi vstupnými atribútmi a cieľovým. Na tento účel sme použili Pearsonov Chi-squared test pre nominálne atribúty a Welchov test pre numerické. Výsledok potvrdili závislosti vo väčšine prípadov; výnimkou bol len atribút popisujúci povrch vozovky, pri ktorom sme na úrovni spoľahlivosti 0.95 zamietli nulovú hypotézu o závislosti atribútov.

#### D. Modelovanie a Vyhodnotenie

Na začiatku je potrebné si rozdeliť dataset na trénovaciu a testovaciu množinu. My sme sa rozhodli otestovať viacero pomerov, a to 90 (trénovacia):10 (testovacia), 80:20, 70:30 a 60:40. Každé rozdelenie bolo stratifikované, t.j. pomer hodnôt cieľového atribútu bol rovnaký v predspracovaných dátach, v trénovacej aj testovacej množine. Pri každom rozdelení sme opakovali daný experiment 10-krát s cieľom potvrdiť dosiahnuté výsledky pri rôznom výbere záznamov do oboch množín (v angl. „repeated stratified holdout“). Výsledné metriky ako presnosť, senzitivita (podiel správne klasifikovaných pozitívnych príkladov) a špecificita (podiel správne klasifikovaných negatívnych príkladov) predstavujú priemerné hodnoty z týchto experimentov a je ich možné vypočítať z tzv. „confusion matrix“ (Tab.2).

Tabuľka 2  
 Hodnotiacia matica („confusion matrix“)

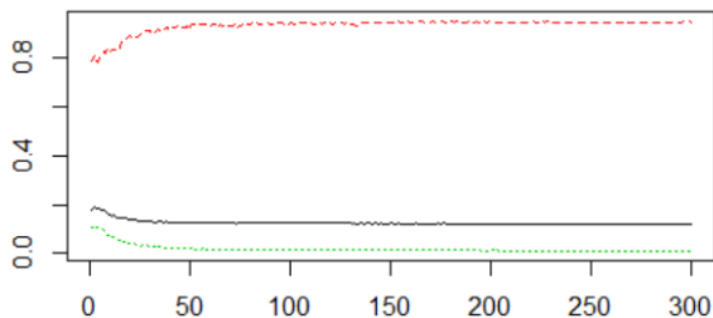
Reálne = riadky Predikované = stĺpce	0	1
0	TN	FP
1	FN	TP

$$\text{špecificita} = \frac{TN}{(TN + FP)} \quad (1)$$

$$\text{senzitivita} = \frac{TP}{(TP + FN)} \quad (2)$$

Pri algoritme C4.5 sme vygenerovali model s najlepšou presnosťou 88.45% pri 10 pokusoch so smerodajnou odchýlkou 0.027 pri rozdelení v pomere 70:30 (špecificita 25%, senzitivita 88%). Tieto hodnoty spolu s výslednými maticami potvrdili, že vygenerované rozhodovacie modely mali problém správne klasifikovať príklady minoritnej triedy cieľového atribútu.

Na základe prvotných výsledkov sme sa rozhodli aplikovať na dáta dve metódy riešenia nevybalansovanej distribúcie cieľového atribútu: nadzorkovanie a podzorkovanie. V tomto prípade sme každý experiment opakovali 5-krát a výslednú presnosť vypočítali ako priemer. Pri rozdelení 90:10 a použitím algoritmu C4.5 nadzorkovanie neprinieslo významné zlepšenie presnosti (88.77%, s odchýlkou 0.36 pri 5 pokusoch), ale zlepšila sa schopnosť modelu správne klasifikovať minoritnú cieľovú triedu (špecificita 60%, senzitivita 89%). Podobné výsledky dosiahol aj algoritmus RandomForest, čo dokumentuje graf vývoja chyby pre obe cieľové hodnoty aj po vybalansovaní (obr.2).



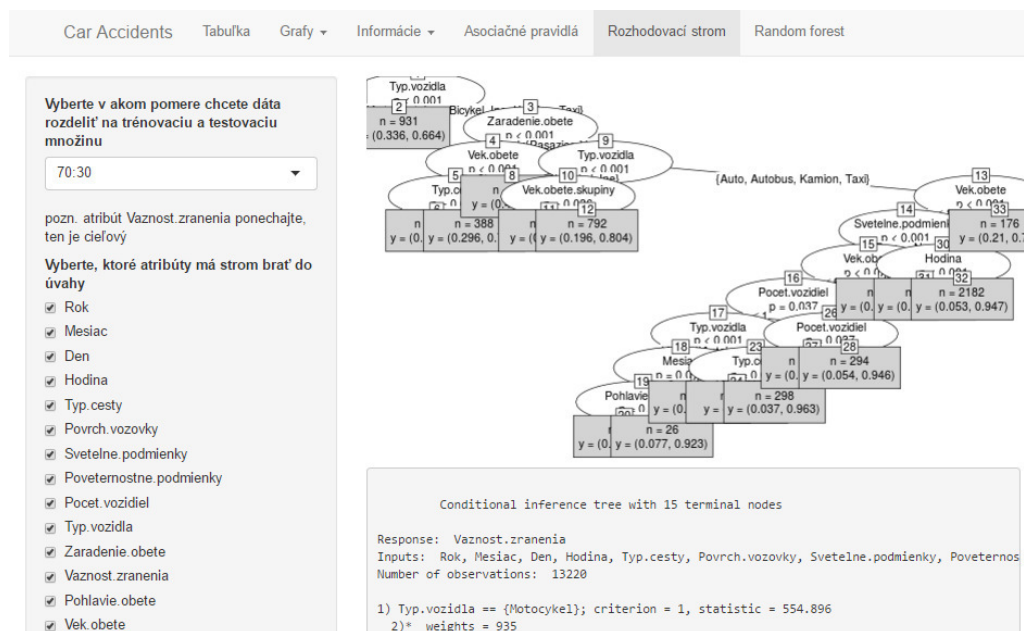
Obr. 2 Graf chyby pre najlepší model vygenerovaný algoritmom Random Forest na vybalansovaných dátach (zelená – 1, červená – 0, čierna – out-of-bag).

Následne sme experimentovali s výberom rôznych kombinácií vstupných atribútov a transformáciou nominálnych atribútov na binárne. Ani tieto úpravy nepriniesli významne zlepšenie výsledkov. V prípade metód Bayesov klasifikátor a k-najbližších susedov sme dosiahli najvyššiu presnosť 88.18% (špecificita 50%, senzitivita 89%) a 87.07% (špecificita 21%, senzitivita 88%) opäť pri rozdelení 90:10.

Na základe dosiahnutých výsledkov s predikčnými modelmi sme predpokladali podobnú „úspešnosť“ aj pri generovaní asociačných pravidiel. To znamená, že výsledky často obsahovali pravidlá pre majoritnú cieľovú triedu a ich informačná hodnota bola nízka, t.j. boli pomerne jasné a známe, napr. AK bol deň A poveternostné podmienky priaznivé bez vetra, TAK s pravdepodobnosťou 88.92% obeť prežila.

### E. Nasadenie

V rámci nasadenia sme sa rozhodli vytvoriť aplikáciu založenú na dosiahnutých znalostiach a skúsenostiach. Výsledný prototyp (obr.3) predstavuje plnohodnotné interaktívne prostredie ponúkajúce napr. zobrazenie sumárnych informácií o vlozenej dátovej množine, rôzne grafy na popisnú štatistiku, aplikáciu vybraných metód strojového učenia či rozdelenie dát na tréningovú alebo testovaciu množinu.



Obr. 3 Ukážka aplikácie, konkrétne záložky na generovanie rozhodovacích stromov.



### III. ZÁVER

Cieľom práce bolo analyzovať dostupnú vzorku o dopravných incidentoch prostredníctvom predikčných modelov alebo popisných asociačných pravidiel. Pri riešení tejto úlohy sme postupovali v súlade s metodológiou CRISP-DM. Dosiahnuté výsledky potvrdzujú, že nevybalansovaný charakter vstupnej množiny dát môže skomplikovať dosiahnutie očakávaných výsledkov vo forme vysokej presnosti a nízkej chyby klasifikácie. Táto situácia môže byť spôsobená napr. tým, že dostupné vstupné atribúty nie sú dostatočne separovateľné v prípade dvoch hodnôt cieľovej skupiny. Napriek tomu, dosiahnuté hodnoty boli lepšie ako výsledky popísané v časti analýza súčasného stavu.

### POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt "Centrum informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy" (kód ITMS:26220120020), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

### POUŽITÉ ZDROJE

- [1] WHO, *Global status report on road safety*. 2015.
- [2] B. B. Sadeghi, *Road accident data analysis: a data mining approach*. Indian Journal of Scientific Research, 2014.
- [3] O. Akinbola, *Using Data Mining Technique to Predict Cause of Accident and Accident Prone Locations on Highways*. American Journal of Database Theory and Application, 2012.
- [4] S. I. Kabeer, *Analysis of Road accident in Leeds*. MSc Research Project, National College of Ireland, 2016.
- [5] M. Terek, A. Horníková, V. Labudová, *Hĺbková analýza údajov*. Bratislava, Iura Edition, 2010.
- [6] H. Edelstein, *Introduction to Data Mining and Knowledge Discovery*. Two Crows Corporation, 3<sup>rd</sup> edition, 1999.
- [7] X. Wu, V. Kumar, *Top 10 algorithms in data mining*, CRC Press, 1<sup>st</sup> edition, 2009.
- [8] R. Agrawal, R. Srikant, *Fast algorithms for mining association rules in large databases*. Proceedings of the 20th International Conference on Very Large Data Bases, VLDB, Santiago, Chile, s. 487-499, 1994.

# Diagnostika Srdcovo-cievnych Ochorení Pomocou Dolovania v Dátach

František BABIČ, Jaroslav OLEJÁR

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Technická univerzita v Košiciach

frantisek.babic@tuke.sk, jaroslav.olejar@student.tuke.sk

**Abstrakt** — Podpora medicínskej diagnostiky predstavuje jednu z hlavných výziev, ktorá momentálne stojí pred oblasťou dátovej analytiky. K dispozícii máme metódy strojového učenia, umelej inteligencie alebo štatistiky, ktoré je možné aplikovať na medicínske záznamy dostupné v elektronickej podobe. V našej práci sme sa zamerali na diagnostiku srdcovo-cievnych ochorení pomocou metód ako rozhodovacie stromy (ctree, C5.0, rpart), Naivný Bayesov klasifikátor, Support Vector Machine a Neurónové siete. Na tento účel sme použili voľne dostupnú dátovú množinu Heart Disease Databases. Dosiahnuté výsledky sú porovnateľné s existujúcimi prácami, v niektorých prípadoch lepšie.

**Kľúčové slová** — medicínske dáta, diagnostika, dolovanie

## I. ÚVOD

Srdcovo-cievne ochorenie je najčastejšou príčinou smrti nielen nás Slovákov, ale aj všetkých Európanov. Dôvody, prečo sa táto choroba v tak veľkom množstve vyskytuje, nemusíme hľadať ďaleko: nezdravý životný štýl, zlá strava, málo pohybu, neustály stres. Medzi najčastejšie srdcovo-cievne ochorenia patrí srdcová arytmia, ischémia, hypertenzia, ochorenie chlopni alebo zápal srdcového svalu. Tie môžu vyústiť do infarktu alebo mozgovej príhody. Následky sú často fatálne.

Vývoj technológií neustále napreduje, inovácie sú pozorovateľné vo všetkých odvetviach a výnimkou nie je ani medicína. Pokrok v medicíne môžeme pozorovať na snahe vynájsť čo najúčinnjšie liečivá a taktiež na uľahčení a zefektívnení práce doktorov. Diagnostika chorôb je podporovaná modernejšími diagnostickými prístrojmi, ktorých výsledky by mali doktorovi pomôcť s určením správnej diagnózy. Konečné rozhodnutie však stále stojí na človeku, odborníkovi, ktorý musí pod tlakom rozhodnúť, na akú chorobu a ako bude pacienta liečiť. Pre doktora môže byť obrovskou výhodou, ak sa o svojom rozhodnutí môže poradiť nielen so svojimi kolegami, ale aj s nástrojom na to určeným.

Medicínsky systém na podporu rozhodovania poskytuje odborníkovi správne znalosti v správny čas s cieľom podporiť diagnostiku a zlepšiť samotnú zdravotnú starostlivosť o pacienta [1]. Takýto systém môže fungovať na báze znalostí, teda akýchsi pravidiel, ktoré používateľove vstupné údaje pretransformujú na výsledok, napríklad "pri kombinácii týchto 2 liekov môže nastať otrava". V súčasnosti sa však čoraz viac využívajú systémy bez bázy znalostí, ktoré fungujú na princípe strojového učenia. To znamená, že systém je prepojený s databázou medicínskych informácií, nad ktorou sú vykonávané rôzne analýzy. Systém teda nie je závislý od pravidiel zadaných pri jeho vzniku, ale dokáže sa sám učiť na základe nových dát a je omnoho flexibilnejší. S postupným prevádzaním medicínskych záznamov do elektronickej podoby jednoznačne stúpa potenciál tohto typu riešenia.

### A. Analýza Súčasného Stavú

Pre ilustráciu predstavíme niekoľko existujúcich medicínskych webových aplikácií na podporu diagnostiky. Webová aplikácia Symptom Checker<sup>1</sup> od spoločnosti WebMD slúži na odhalenie choroby na základe vložených symptómov. Po zadaní základných údajov, ako je vek a pohlavie pacienta, sa zobrazí veľmi prívetivé používateľské rozhranie. V ľavej časti obrazovky sa nachádza figurína človeka. Po kliknutí na určitú časť tela sa zobrazia možné

<sup>1</sup> <http://symptoms.webmd.com>

problémy (symptómy) s touto časťou. Po vybratí symptómu sa aplikácia formou krátkého dotazníka spýta na jeho bližší opis. V pravej časti obrazovky sa zobrazujú možné choroby, ktoré sú pravdepodobné na základe vybraných symptómov. Ak používateľ svoj výber dokončil, môže si prezrieť viac informácií o pravdepodobných chorobách, ktoré sú usporiadané od najpravdepodobnejších po menej pravdepodobné.

VisualDx<sup>2</sup> je webová aplikácia na podporu medicínskeho rozhodovania určená pre lekárov. Lekár môže zadať do aplikácie vek a príznaky pacienta, či pacient niekde cestoval a množstvo ďalších údajov. Aplikácia zobrazí možné choroby spolu s fotkami ľudí trpiacich danou chorobou, aby mal lekár lepšiu predstavu o chorobe.

Symptomate<sup>3</sup> je jedna z mála medicínskych webových aplikácií zameraných na diagnostiku chorôb, ktorá nebola vyvíjaná v USA alebo Veľkej Británii. Stojí za ňou tím poľských doktorov a IT špecialistov. Je veľmi podobná WebMD System Checker aplikácií. Na začiatku je potrebné súhlasiť s podmienkami použitia. Neskôr sa aplikácia pýta na pohlavie, vek, výšku a váhu používateľa. Aplikácia ukáže zopár symptómov ktoré sú najznámejšie, neskôr je možné zadať podrobnejšie príznaky. Na výber je približne 1000 symptómov. Ak je výber ukončený, je nutné vybrať na mape región v ktorom používateľ žije a miesta, ktoré navštívil za posledný rok.

Okrem toho v doméne analýzy medicínskych dát s cieľom podporiť diagnostiku srdcovo-cievnych ochorení bolo realizovaných viacero štúdií alebo analytických projektov. V práci [2] autori porovnávali dva algoritmy rozhodovacích stromov (CART a ID3) a metódu rozhodovacej tabuľky. Na tento účel použili rovnaké dáta ako my. Vo fáze prípravy dát eliminovali dva atribúty Thal a Oldpeak, na overenie presnosti klasifikácie použili 10-násobnú krížovú validáciu v prostredí WEKA. Najvyššiu úspešnosť klasifikácie dosiahol algoritmus CART (83.49%), s tesným odstupom 1 % bola druhá metóda rozhodovacej tabuľky a najmenšiu úspešnosť mal jednoznačne algoritmus ID3 (72.93%). Autori zároveň identifikovali dôležitosť jednotlivých atribútov pre celkovú klasifikáciu. Ako najdôležitejšie označili atribúty Cp, Slope a Exang.

Rovnaké dáta použili aj autori na predikciu srdcovej choroby pomocou rozhodovacích stromov, Naivného Bayesovského klasifikátora a neurónových sietí [3]. Pri generovaní klasifikačných modelov si rozdelili dáta na dve rovnaké polovice. Najvyššiu presnosť dosiahli modely rozhodovacích stromov (89.00%), potom Bayesovského klasifikátor (86.56%) a nakoniec neurónových sietí (85.53%). Podobné metódy doplnené o zhlukovanie si vybrali autori v práci [4]. V tomto prípade bola dosiahnutá presnosť klasifikácie vyššia pri Naivnom Bayesovskom klasifikátore (85.03%) ako pri stromoch (84.01%).

## II. ANALYTICKÝ PROCES PODĽA CRISP-DM

### A. Pochopenie Cieľa

Biznis cieľom je aplikačnou podporou zefektívniť doktorom diagnostiku srdcových chorôb, teda priniesť na trh nástroj pomáhajúci lekárom zistiť, či je pravdepodobné, že daný pacient má srdcovú chorobu. Prostriedkom, ako to dosiahnuť je vytvorenie webovej aplikácie, ktorej presnosť a správnosť výsledkov môže byť následne overená odborníkmi. Cieľom dolovania v dátach je vytvoriť model, na základe ktorého bude možné určiť, či pacient trpí srdcovou chorobou. Tento model bude riešiť úlohu binárnej klasifikácie s minimálnou presnosťou 85%.

### B. Pochopenie Dát

Spracovaná databáza srdcových chorôb je voľne dostupná na webovej stránke UCI Machine Learning Repository. Dáta boli získané integráciou štyroch databáz: Cleveland, Hungarian, Switzerland a Long Beach VA. Každá databáza obsahuje rovnaké atribúty, líšia sa iba počtom a kvalitou záznamov. Nachádzajú sa v nich medicínske informácie o ľuďoch s pozitívnou aj negatívnou diagnózou choroby srdca. Dáta boli zozbierané v roku 1988.

Každá zo štyroch dátových množín obsahuje 14 rovnakých atribútov. Dátové typy atribútov sa však výrazne odlišujú. Často sa vyskytuje prípad, že niektorý atribút má v datasete Cleveland numerický charakter, ale v datasete Hungary nominálny charakter. Najviac záznamov sa nachádza v databáze Cleveland a najmenej v databáze Switzerland. Pomer pacientov, u ktorých bol potvrdený výskyt srdcovej choroby a pacientov, u ktorých nebola zistená srdcová choroba je v datasetoch Cleveland a Hungary približne vyrovnaný; pri datasetoch Switzerland a Long Beach VA je tento pomer výrazne nevyrovnaný (115:8, 149:51).

Čo sa týka úplnosti dát, v dátach sa nachádza celkom 1932 chýbajúcich hodnôt, najviac v atribúte Ca, kde ich je až 611. Vzhľadom na všetky hodnoty v dátach predstavujú chýbajúce hodnoty podiel 15 %. V atribútoch Age, Sex, Cp a cieľovom atribúte Num (presence, absence)

<sup>2</sup> <https://www.visualdx.com/>

<sup>3</sup> <https://symptomate.com/>

sa chýbajúce hodnoty nenachádzajú.

Pri niektorých atribútoch si bližšie priblížime ich medicínsky význam, pretože pre medicínskeho laika môžu byť niektoré výrazy ťažko pochopiteľné. Atribúty Age, Sex, Exang (nastala/nenastala bolesť na hrudi pri cvičení) a cieľový atribút Num sú jasné a zreteľné.

*Cp* - Typ bolesti hrude. Tento atribút má štyri hodnoty: typická angína (hodnota 1), atypická angína (hodnota 2), neangiózná bolesť (hodnota 3), asymptomatický pacient (hodnota 4). Typická angína má podľa [5] tri základné vlastnosti: zvieravá bolesť na hrudi, bolesť vzniká pri námahe alebo strese, v pokoji alebo pri užití nitrátov nastáva rýchla úľava.

*Trestbps* - Krvný tlak nameraný v pokoji, ktorý bol nameraný pacientovi po prijatí do nemocnice. Jedná sa o systolický (horný) krvný tlak udávaný v jednotkách mm Hg. Štandardná hodnota u zdravého človeka je 120 mm Hg, vysoký krvný tlak (hypertenzia) je pri hodnotách vyšších ako 140 mm Hg [6].

*Chol* - Obsah cholesterolu v krvi. Zistený obsah cholesterolu v krvi v jednotkách miligram na deciliter krvi (mg/dL). Hodnoty nad 240 mg/dL sa považujú za vysoký obsah cholesterolu v krvi [7].

*Fbs* - Hladina cukru v krvi. Hodnota tohto atribútu udáva, či je u pacienta zvýšený obsah glukózy v krvi po 8 hodinovom pôste, kedy pacient nič nejedol a pil iba čistú vodu. Ak bol nameraný obsah väčší ako 120 mg/dL, pacient má podozrenie na cukrovku a hodnota Fbs je 1. Inak je to 0.

*Restecg* - EKG výsledky. Tento atribút má 3 hodnoty, ktoré vyplývajú z EKG výsledkov nameraných v pokoji. Hodnota 0 znamená, že vo výsledkoch nebola nájdená žiadna abnormalita. Hodnota 1 znamená, že vo výsledkoch bola nájdená inverzia T vlny a/alebo elevácia alebo depresia ST segmentu bola na úseku väčšom ako 0.05 mV. Hodnota 2 znamená, že u pacienta bola zistená ľavá ventrikulárna hypertrofia, teda zväčšené a zhustené steny ľavej komory srdca.

*Thalach* - Maximálna tepová frekvencia. Je to hodnota, ktorá bola získaná prostredníctvom záťažového testu. Chápe sa ako maximálny počet sťahov, ktoré srdce zvládne vykonať v priebehu jednej minúty. Optimálna hodnota vzhľadom na vek pacienta sa dá vypočítať ako rozdiel čísla 220 a veku pacienta.

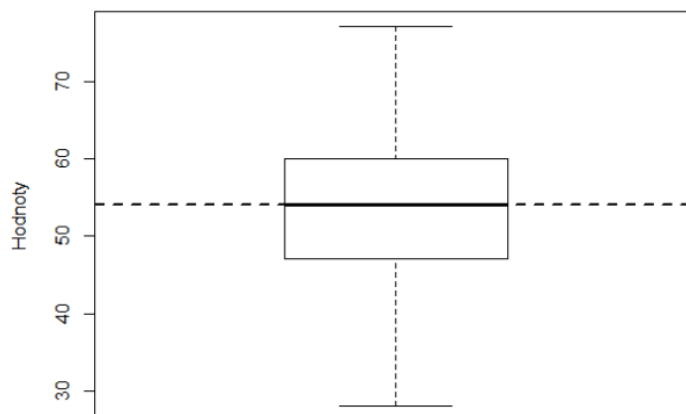
*Oldpeak* - Pokles ST vlny medzi cvičením a odpočinkom. Hodnota tohto atribútu udáva rozdiel vlny v ST segmente nameraný v milimetroch medzi EKG meraniami uskutočnenými pri cvičení a v odpočinku.

*Slope* - Sklon maximálneho výkonu ST segmentu. Sklon môže byť klesajúci (hodnota 1), plochý (hodnota 2) a rastúci (hodnota 3).

*Ca* - Počet hlavných ciev zafarbených flouroskopom. Jednotlivé hodnoty (0, 1, 2 a 3) udávajú počet ciev v ktorých bola zistená zrazenina.

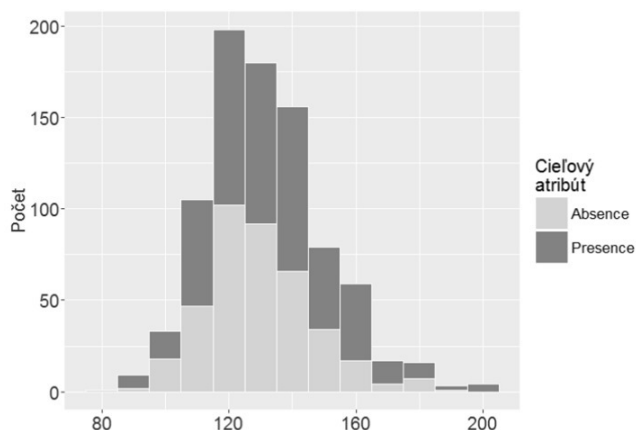
*Thal* - Tálum sken srdca. Je to procedúra, kde sa použitím špeciálnej kamery a malým množstvom rádioaktívnej látky dá zostaviť obraz prietoku krvi do srdca. V obraze prietoku krvi sa môžu zobrazovať tmavé body, ktoré signalizujú poškodenie srdcového tkaniva. Ak sa tmavé body v obraze nenachádzajú, pacientovi nebol preukázaný problém (hodnota 3). Ak sa tmavé body zobrazujú pri pokojovom stave pacienta a aj pri cvičení, znamená to, že pacient možno prekonal určitý srdcový problém (hodnota 6). Ak sa tmavé body zobrazujú len pri cvičení, prietok krvi v tepnách je zrejme niekde blokový (hodnota 7).

Z boxplot grafu (obr.1) atribútu Age je vidieť, že vekovo sú najviac zastúpení pacienti medzi 50 a 60. Medián veku pacientov v použitej vzorke je 54 rokov. Z toho možno vyčítať, že najmä pacienti po päťdesiatke najčastejšie pociťujú problémy a vyhľadávajú pomoc odborníkov.



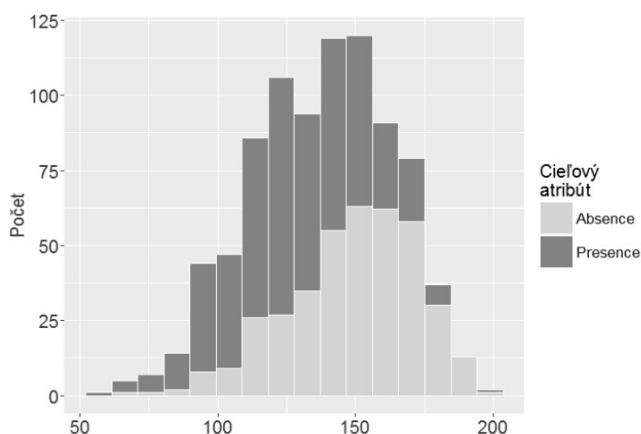
Obr. 1 Boxplot atribútu Vek.

Z histogramu (obr.2) pre atribút Trestbps udávajúci hodnotu nameraného systolického tlaku je možné si všimnúť, že pomerne veľké percento pacientov s ideálnym krvným tlakom, pohybujúcim sa okolo hodnoty 120, má zároveň aj srdcovú chorobu. Pre ľudí zahrnutých v tejto dátovej množine teda ani ukázkový krvný tlak nemusí znamenať absenciu choroby.



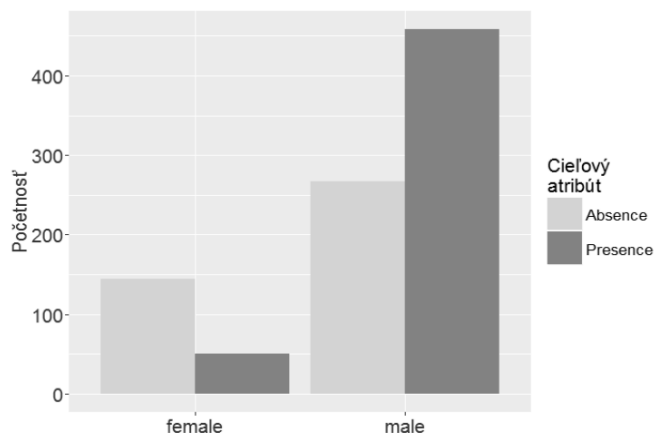
Obr. 2 Histogram atribútu Trestbps v kombinácii s cieľovým atribútom.

Pozitívne je, že ľudia s vysokou maximálnou tepovou frekvenciou Thalach sú v tejto vzorke zdravší ako tí s nízkou. Predpokladá sa, že vysoká maximálna tepová frekvencia je prevažne u športovcov a ľudí, ktorí pravidelne cvičia. Z toho vyplýva, že častý pohyb môže mať výrazne pozitívny vplyv na zdravie človeka (obr.3).



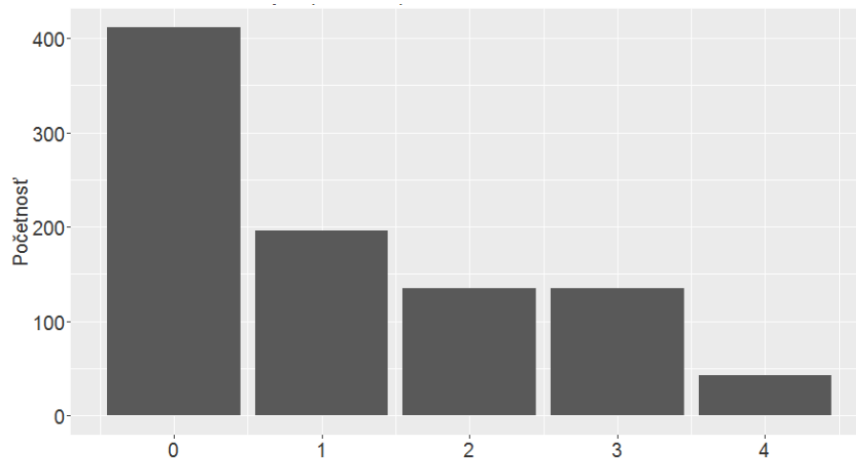
Obr. 3 Histogram atribútu Thalach v kombinácii s cieľovým atribútom.

Z grafu atribútu Sex vyplýva, že v dátach sa nachádza výrazne viac mužov ako žien. Zatiaľ čo u žien prevláda absencia srdcovej choroby, u mužov je to opačne. Zaokrúhlene, zo 700 mužov v databáze ich má až 450 srdcovú chorobu. Z troch náhodne vybraných mužov z tejto vzorky, by mali mať dvaja srdcovú chorobu.



Obr. 4 Histogram atribútu Sex v kombinácii s cieľovým atribútom.

Cieľový atribút, ktorý má model predikovať, pozostáva z piatich hodnôt (obr.5). Hodnota 0 znamená, že pacient nemá srdcovú chorobu. Hodnoty 1, 2, 3, 4 hovoria o závažnosti srdcovej choroby, kde 1 je najmenej závažná a 4 najviac. Pre splnenie cieľa dolovania v dátach postačí ak bude model predpovedať len dve hodnoty, či pacient má alebo nemá srdcovú chorobu. Preto sme vo fáze prípravy dát agregovali hodnoty 2, 3 a 4 na hodnotu 1 (výskyt srdcovej choroby) a hodnota 0 ostane nezmenená (absencia srdcovej choroby).



Obr. 5 Histogram cieľového atribútu.

Na záver sme zisťovali potenciálnu závislosť medzi jednotlivými vstupnými atribútmi a cieľovým. Na tento účel sme použili 2-výberový Welchov t-test pre numerické atribúty a Pearsonov Chi-kvadrát pre nominálne. Keďže Welchov t-test patrí medzi parametrické metódy, nutnou podmienkou jeho použitia je normálna distribúcia vstupného atribútu. Výsledkom bolo zistenie, že nie je možné vylúčiť žiadny z atribútov. Najväčší vplyv na zaradenie do cieľovej triedy presence majú triedy atribútu  $C_a$  (1, 2, 3). Naopak, triedy atribútu  $C_p$  (atypical, non-anginal a typical angina) výrazne znižujú šancu na zaradenie do triedy presence. Z testu takisto vyplýva, že v rámci týchto dát muži majú vyššiu šancu na prítomnosť srdcovej choroby ako ženy.

### C. Príprava dát

V prvom kroku sme integrovali všetky 4 dátové množiny do jednej. Ako už bolo spomenuté, v dátach sa nachádza 1932 chýbajúcich hodnôt. Na vyriešenie problému s chýbajúcimi hodnotami existuje viacero spôsobov, ako napr. ignorovať celý záznam, vyplniť hodnotu manuálne alebo dosadiť hodnotu aritmetického priemeru atribútu. Snahou bolo zistiť čo najpravdepodobnejšiu hodnotu pre doplnenie použitím hodnôt z ostatných atribútov. Na tento účel sme v prípade nominálnych atribútov použili metódu k-najbližších susedov. Na numerické atribúty sme aplikovali viacnásobnú lineárnu regresiu.

### D. Modelovanie a Vyhodnotenie

Na začiatku je potrebné si rozdeliť dataset na trénovaciu a testovaciu množinu. My sme sa rozhodli pre pomer 60:40, 70:30 a 80:20. Každé rozdelenie bolo stratifikované, t.j. pomer hodnôt cieľového atribútu bol rovnaký v predspracovaných dátach, v trénovacej aj testovacej množine. Pri každom rozdelení sme opakovali daný experiment 10-krát s cieľom potvrdiť dosiahnuté výsledky pri rôznom výbere záznamov do oboch množín (v angl. „repeated stratified holdout“). Výsledné metriky ako presnosť, senzitivita (podiel správne klasifikovaných pozitívnych príkladov) a špecifickosť (podiel správne klasifikovaných negatívnych príkladov) predstavujú priemerné hodnoty z týchto experimentov a je ich možné vypočítať z tzv. „confusion matrix“. Model, pri ktorom bola úspešnosť klasifikácie najvyššia a chyba klasifikácie najnižšia sme považovali za najviac vyhovujúci.

Na generovanie klasifikačných modelov sme použili algoritmy rozhodovacích stromov (rpart, ctree, C5.0), Naivný Bayesov klasifikátor, SVM a neurónové siete. V prípade neurónových sietí sme normalizovali numerické atribúty metódou min-max.

Tabuľka 1  
Dosiahnuté výsledky pre jednotlivé metódy

Metóda	Pomer	Presnosť (%)	Senzitivita (%)	Špecificita (%)
Rozhodovací strom rpart	80:20	87.77 ± 0.02	88.92 ± 0.03	90.55 ± 0.02
Naivný Bayesov klasifikátor	60:40	86.36 ± 0.02	85.42 ± 0.02	87.96 ± 0.01
Support Vector Machine	80:20	88.69 ± 0.02	86.6 ± 0.03	89.20 ± 0.02
Neurónové siete	70:30	84.07 ± 0.02	83.97 ± 0.03	86.50 ± 0.02

### E. Nasadenie

Z vytvorených predikčných modelov vo forme rozhodovacích stromov je možné extrahovať rozhodovacie pravidlá, ktoré pomôžu lekárovi pochopiť, ako sa podporný systém dopracoval k odporúčanej diagnóze:

- AK sa na obraze prietoku krvi pacienta nezobrazujú tmavé body A zároveň mu bol aspoň v jednej srdcovej tepne zistená zrazenina A zároveň pacient nepocíťoval žiadnu bolesť na hrudi, TAK má pacient podľa rozhodovacích stromov s 95 % istotou srdcovú chorobu.
- AK sa na obraze prietoku krvi pacienta zobrazujú tmavé body A zároveň mu nebola zistená v srdcových tepnách zrazenina A zároveň pacient pocíťoval pri cvičení bolesť na hrudi, TAK má pacient podľa rozhodovacích stromov s 80 % istotou srdcovú chorobu.
- AK sa na obraze prietoku krvi pacienta nezobrazujú tmavé body A zároveň mu nebola zistená v srdcových tepnách zrazenina A zároveň pacientova maximálna tepová frekvencia bola menšia alebo rovná 95 úderov za minútu, TAK pacient má podľa rozhodovacích stromov s 70 % istotou srdcovú chorobu.

### III. ZÁVER

Cieľom práce bolo analyzovať dostupnú vzorku pacientov s cieľom čo najpresnejšie predikovať srdcovo-cievne ochorenie na základe voľne dostupnej vzorky dát. V porovnaní s existujúcimi prácami sú dosiahnuté výsledky takmer rovnaké alebo lepšie. Dosiahnuté výsledky spolu s nadobudnutými skúsenosťami môžu byť použité na vytvorenie podpornej softvérovej aplikácie, ktorá pri správnom používaní pomôže lekárom pri overovaní ich hypotéz. Jej hlas bude len poradný, hlavná zodpovednosť bude vždy na lekárovi.

### POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt "Centrum informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy" (kód ITMS:26220120020), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

### POUŽITÉ ZDROJE

- [1] E.S. Erner, *Clinical decision support systems: State of the Art*. AHRQ Publication No. 09-0069-EF. Rockville, Maryland : Agency for Healthcare Research and Quality, 2009.
- [2] V. Chaurasia, S. Pal, *Early Prediction of Heart Diseases Using Data Mining Techniques*. In : Carib.j.SciTech. Roč. 1, s. 208-217, 2013.
- [3] S. Palaniappan, R. Awang, *Intelligent heart disease prediction system using data mining techniques*. In: Computer Systems and Applications, 2008.
- [4] B. Venkatalakshmi, M.V. Shivsankar, *Heart Disease Diagnosis Using Predictive Data mining*. In : International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Roč. 3, č. 3, 2014.
- [5] M. Štejfá, *Kardiologie*. 3. vydanie, Praha, Grada, 2007
- [6] Zdravie.sk: meranie krvného tlaku – vysoký krvný tlak – hypertenzia.
- [7] Cholesterol Levels: What You Need to Know. In : NIH Medline Plus. Roč. 7, č.2, s. 6-7. 2012.

# Solution for Collection of Anthropometric Parameters

<sup>1</sup>Jaroslav FOLTÍN, <sup>2</sup>Ondrej KAINZ, <sup>3</sup>Miroslav MICHALKO,  
<sup>4</sup>Roman VÁPENÍK, <sup>5</sup>František JAKAB

<sup>1,2,3,4,5</sup> Department of Computers and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>jaroslav.foltin@student.tuke.sk, <sup>2</sup>ondrej.kainz@tuke.sk, <sup>3</sup>miroslav.michalko@tuke.sk,  
<sup>4</sup>roman.vapenik@tuke.sk, <sup>5</sup>frantisek.jakab@tuke.sk

**Abstract** — The main task of presented research was the development of the experimental plugin for the selected Content Management System. Plugin is primarily designed for collecting and displaying anthropometric data recorded manually or using experimental hardware. In the first part of the analysis we focused on computational human phantoms, which have great potential for representation of anthropometric data of the human body. This analysis presents types of existing phantoms and their applications. Following the analysis, the CMS system for implementing the resulting system that contains plugin and database was selected. One of the functionalities of plugin is data entry to the database using an XML file and its generation. The final implementation was tested and based on these tests, it was found that the module can write and display the data. The input XML file must follow standard structure so that the data can be processed.

**Keywords** — computational human phantom, Content Management System (CMS), plugin

## I. INTRODUCTION

One of the methods for processing human anthropometric data is the use of a computational human phantom. Under anthropometric data, we can understand the distribution and size of internal or external organs. The computational phantom, as in [1], represents the stereometric model of the internal and external organs of the human body. Nowadays, measured data obtained by magnetic resonance imaging (MRI) or computed tomography (CT) is used in their production.

The second part of this work is the analysis of plugins in selected Content Management Systems (CMS), where we describe this problematics in more detail. This analysis is necessary when designing a custom solution for creating a plugin. Many of today's websites are built on these technologies, because managing and creating web content is not difficult for Internet users.

The result of this work is a functional system consisting of several parts. A simple computational model of the human body is used for collecting anthropometric data on a website created by CMS technology. These data can be entered by filling out the appropriate forms or as an input file in XML format. The created plugin can write this data into the database. Another functionality of the plugin is displaying data from the database in the user interface and export it as output XML file. The resulting system is tested for the implementation of its various functions. And we also evaluated the resulting internal structure of the output XML file that is created by the plugin.

## II. COMPUTATIONAL HUMAN PHANTOM

Multiple modeling techniques are used to create phantoms. As in [2], is useful for a better overview of the problematics of computing models to divide into several groups. This is especially important from the point of view of modeling techniques that were used at a certain time for research and development of particular models.

We can divide the existing computational models into three basic categories:

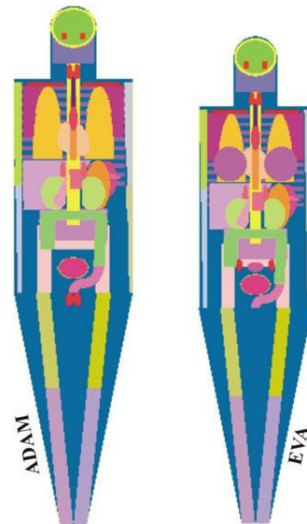
- Stylized (mathematical) phantoms (developed between 1960 to 2000),
- Voxel phantoms (developed between 1980 and 2000),
- Boundary representation (hybrid) phantoms (developed since 2000 - present).



### A. Stylized (mathematical) phantoms

This is the first generation of phantoms, which used only simple geometric shapes: spheres, discs or cylinders to represent the human body.

One of the results of the research, as in [2], by Walter S. Snyder [3] was the creation of a first phantom in which 120 sub-regions are used for approximate organ mapping. This model, which was gradually improved in later research, consists of three main areas: head with neck, torso with arms and legs. After later adjustments, the model became the basis for a new type of phantom, known in nuclear medicine as the MIRD model, see Fig. 1. The phantom represents only a „box“, in which the organs are inserted as geometric shapes. These models, as in [5], are not very accurate and don't describe the complex internal anatomy of the human body.



**Fig. 1:** Mathematical model MIRD type 5 phantom representing adult male (left) and female (right).

Ref. [4]

### B. Voxel phantoms

Problems of stylized computational phantoms are solved using voxel phantoms. Voxel phantoms are based on acquired scans of a scanned real person using CT or MRI. Each scanned image consists of a pixel matrix.

Voxel phantoms are not always the most accurate because, as in [6], CT may not show all tissues, so a contrast agent is needed. Inaccuracies can also occur in segmentation, where some anatomical structures may be smaller than the size of one volume point (voxel). Their further disadvantage is that they do not show physiological processes such as breathing and heart activity.

### C. Boundary representation (hybrid) phantoms

The term 4D phantom is mentioned because it represents a changing voxel 3D model in time dependence. Creating these phantoms is very important in simulation studies that help improve medical imaging equipment or image processing techniques.

To create a 4D phantom, it is necessary to combine a stylized (mathematical) phantom with a voxel phantom. That's why these models are called hybrid phantoms. Voxel phantoms are very accurate in organ imaging, but they have their limitations when they are showing their movement, as in [7]. They are usually fixed to specific data, so they are not very flexible if a new phantom has to be created. On the other hand, stylized phantoms are not accurate, but provide better model manipulation using mathematical functions because they consist of geometric objects.

One technique for creating these phantoms is the use of nonuniform rational B-spline (NURBS). Another method of modeling is method of polygonal meshes.

## III. CONTENT MANAGEMENT SYSTEMS

Because we also work with CMS technology in this work, it is advisable to describe this concept and describe how it works. As in [8], CMS system is a server program that saves the text of the web page and its details in the database. Using different templates makes it easy to change website design. The content in this case is separate from the presentation, so it is not necessary to change the program code when changing it.

For page extension, most of these technologies offer the option of adding a plugin that extends a web page to a certain functionality that was not previously possible.

We analyzed the creation of plugins in the following CMS systems:

- CMS WordPress,
- CMS Joomla,
- CMS Drupal.

#### A. *Plugins in CMS WordPress*

Like all available CMS systems, WordPress does not support all the functionality that is needed to create different types of websites. Instead, as described in [9], system customization is possible with a plugin. The plugins are programs that are written in the PHP scripting language. When creating a customized plugin solution, we should not forget its important component - hooks. These determine when the module function should be activated. In most cases, it is enough to search for a support module or just partially modify it to meet our requirements.

We can test the installation of the new plugin on the test server. Although we might have the current version of WordPress installed, it does not mean that the plugin has to behave as we expected. As in [10], the test version of our server should have the same system settings as used in the original version. But that does not mean we have to move all web content to this test server.

#### B. *Plugins in CMS Joomla*

Similarly to other CMS systems - WordPress or Drupal, Joomla is written in the PHP scripting language and the data are stored in a MySQL database. The functionality of the system, which is not included directly in system, can be expanded with the following extensions: plugins, modules, components, various site templates, and language extensions.

The best way, as in [11], to support a page functionality through programmed code is to use plugins. These plugins respond to an event that is flagged and, after marking, the support module registers this event and performs a defined action.

#### C. *Plugins in CMS Drupal*

The Content Management System Drupal, as well as the previously mentioned systems, offers the possibility of modular access to web content management, or its extensions, as in [12].

As in [13], CMS Drupal is based on concepts of modules (Drupal uses the term module instead of plugin) that contain code in PHP and the core of the system knows how to use these modules. In most cases, the modules are based on the fact that they perform one particular function, but in some situations they can be combined with other modules. This approach adds additional features to the system to apply features that would not have been possible using only one module.

#### D. *Results of analysis*

The installation of the new support module is very similar in each system. In each system, there are options for looking for a plugin or importing the own implementation to the system.

For the implementation part, we chose to use WordPress. Its advantages is not only in the speed of system work with the plugins but also in the possibilities to apply the plugin to the system. Also, using the web interface, we can modify this plugin directly on the system without having to re-load the plugin into the system. This approach gives us flexibility in making adjustments in our solution.

### IV. SYSTEM DESIGN OF ANTHROPOMETRIC DATA COLLECTION SYSTEM

The main parts of the implementation of the solution include:

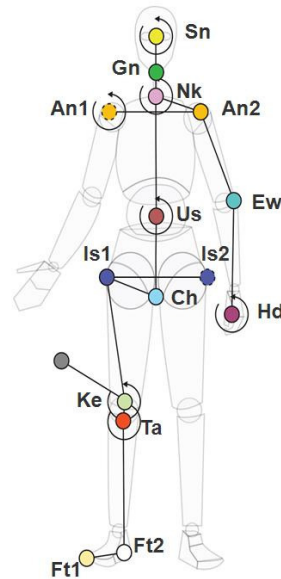
- Web page,
- plugin,
- MySQL database.

The first system element is a website that is created using WordPress. We have chosen this system based on our analysis because it gives us easier access to create our own plugin.

For the collection of anthropometric data using the website, we will use a simple human model, see Fig. 2. This model resembles a mathematical phantom, but in this case it only describes the

external skeleton of the human without internal organs. Using this model, we will be able to get anthropometric values that will be stored in the database.

The final part of our solution is a plugin. It will be created in PHP and will be designed for WordPress. Therefore, it is important to follow all the steps necessary to create a plugin for this system.



**Fig. 2:** Modified computational human model, which is used to obtain anthropometric data via the web interface.  
Ref. [14]

#### A. System design of plugin

The installed plugin is a link between the web interface and the database. All data filled in the form or entered as the XML input file on the web page will be sent through the plugin to the database. The plugin is to implement the data display functionality in the web interface or generate an output XML file with these data.

Therefore, it is necessary to implement the following functionalities:

- inserting data into the database through a form,
- displaying specific data from the database,
- importing data into the database through an input XML file,
- exporting data from the database as an output XML file.

#### B. Design of user interface

The web interface created for WordPress CMS is the entry point for entering anthropometric data into the system. It is important to create this interface to reflect the need for input of a large number of data. For a input of data into the system, we use form and simple human model.

## V. IMPLEMENTATION OF THE SYSTEM

As mentioned in the previous chapters, we use the CMS WordPress to implement our system. Here's an important version of the system, since PHP and MySQL databases depend on it.

Because the system is working with the database, it is necessary to create a MySQL database server. In this case, we use the services of the phpMyAdmin tool, which we can create the necessary database for the system.

The WordPress plugin is written in the PHP scripting language. We use the Notepad ++ text editor to program it. This plugin is the main part of the practical output of the work. In the following chapters we will describe its implementation and testing.

## VI. METHODS

When creating a plugin for WordPress we are based on [15], where authors describe the appropriate principles and methods in its creation. An important part of the plugin to be installed in the CMS system is an information header that contains basic information about plugin, its name, description, version, and author.

For the plugin functions to run after it is installed, we must define and create a hook for the plugin that runs our `my_main()` main function.

We use the functions of the WordPress system, namely `add_filter('the_content', 'my_main')`, where the first function parameter is the content of the page based on which the `my_main()` function is triggered to create the hook mechanism code.

#### A. Database connection

To link the plugin with a MySQL database, we created a connection using PDO (PHP Data Objects). As in [16], PDO represents the interface between the application and the database, which also allows the application to use the database services.

For the connection itself, it is necessary to create a data variable, respectively a PDO object. In our case, this is called `$conn = new PDO("mysql:host = localhost; dbname = testovanie", "root", "")` to create a `$conn` object that contains the necessary data to establish a connection to a database called `testovanie`. Using PDO and MySQL syntax, we also know how to insert, edit, and export data from the database.

#### B. Collection and displaying anthropometric data using a form

By using the `if(isset($_POST['dataButton']))` function in the main `my_main()` function, we can see if the button was pressed. As a result of the fact that all the data on the form is not filled in after the submission, these values are replaced by `NULL`. To map values from form to table values, we use `PDO bindValue('column name in table', value)`.

To displaying the data in the form, we use the `fetch()` function, which sequentially stores the values in the `$row['column of the table']`, and the values are stored in the global variables. If the value in the table column is equal to `NULL`, the resulting form field is blank.

#### C. Importing and exporting anthropometric data via XML file

The `simplexml_load_file()` function saves the data in the `$xml` variable, which the plugin accesses to the values in the file. An example is a cast of code: `$xml_id = $xml->PersonalInformation->person->id`, where the identifier of the person being measured is stored in the variable `$xml_id`. The values are stored in the same way as when storing data through the form.

The system supports export of data from the database as the resulting XML file. By calling `$xmlout = new DOMDocument("1.0")`, the `$xmlout` variable is created to create a defined XML structure. Using the `createElement()` and `appendChild()` functions, the necessary elements of the file are created.

## VII. TESTING

System testing was performed on a local server with a local database. Wampserver and phpMyAdmin tools were used to create the server and the MySQL database.

The first part of the system testing can be considered successful. All data entered via the form were sent to the database. The plugin knew to recognize blank input fields, resulting in unsigned data being displayed as zero.

When displaying the form data, all of the person's data was able to appear in the web interface. System displayed the last measurement from the all measurements with the same ID. Here, the system assumes different values for this number for different measurements.

The second part of testing for the XML file has proven to be essential in detecting problems. The system requires the file to conform to the specified structure, see Fig. 3. Without it, it can not properly write the data to the database. If you do not enter all of the data for one of the four main objects (head, torso, arm, leg), it may happen that the anthropometric data for this object will not be in the database under the correct columns.

Exporting the output XML file was successful, the system was able to export a data file to a specific person. The file differed from expected only in that it contained also blank values that were not entered in the database.

```
...  
<Head>  
<extent person='1'>  
<measurement> Sellion (Circ.) </measurement>  
<value>36</value>  
<measurement> Gnathion (gn) </measurement>  
<value>21</value>  
</extent>  
</Head>  
...
```

Fig. 3: The part of the XML file for measuring the head with the correct structure of anthropometric data.

## VIII. CONCLUSION

From an overall perspective, the system is functional and can fulfill the intended purpose for which it was created – collecting and displaying of anthropometric data through the plugin. Importing and exporting data using an XML file is also implemented in this plugin. Implementation of specific functionality of the plugin created for system can be optimized in the future to address the deficiencies described. The room for improvement is, for example: automating the process of collecting anthropometric data when using a camera that would scan the external organs of the human body, the system would be able to detect these values.

The benefit of the resulting solution is particularly evident in the medical field, where the processing of a large number of anthropometric data of a group of individuals could serve to statistical measurements or to the creation of simple computational models.

## ACKNOWLEDGMENT

This publication is the result of the Project implementation: University Science Park TECHNICOM for Innovation Applications Supported by Knowledge Technology, Phase II., ITMS: 313011D232, supported by the Research & Innovation Operational Programme funded by the ERDF. We support research activities in Slovakia/This project is being co-financed by the European Union.

## REFERENCES

- [1] VF Cassola et al. "FASH and MASH: female and male adult human phantoms based on polygon mesh surfaces: I. Development of the anatomy". In: *Physics in medicine and biology* 55.1 (2009), s. 133.
- [2] Xie George Xu a Keith F Eckerman. *Handbook of anatomical models for radiation dosimetry*. CRC Press, 2009, s. 7.
- [3] WS Snyder, HL Jr Fisher, MR Ford, GG Warner. "Estimates of absorbed fractions for monoenergetic photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom." In: *Journal of Nuclear Medicine* 3:7-52 (1969).
- [4] R Kramer et al. "All about MAX: a male adult voxel phantom for Monte Carlo calculations in radiation protection dosimetry". In: *Physics in medicine and biology* 48.10 (2003), s. 1239.
- [5] Habib Zaidi a Benjamin MW Tsui. "Review of computational anthropomorphic anatomical and physiological models". In: *Proceedings of the IEEE* 97.12 (2009), s. 1938–1953.
- [6] Martin Caon. "Voxel-based computational models of real human anatomy: a review". In: *Radiation and environmental biophysics* 42.4 (2004), s. 229–235.
- [7] WP Segars a BenjaminMWTsui. "MCAT to XCAT: The evolution of 4-D computerized phantoms for imaging research". In: *Proceedings of the IEEE* 97.12 (2009), s. 1954–1968.
- [8] Savan K Patel, VR Rathod a Jigna B Prajapati. "Performance analysis of content management systems-joomla, drupal and wordpress". In: *International Journal of Computer Applications* 21.4 (2011), s. 39–43.
- [9] Brian Bondari. *WordPress 3 Plugin Development Essentials*. Packt PublishingLtd, 2011, s. 8.
- [10] Bud E Smith a Michael McCallister. *Wordpress in depth*. Pearson Education, 2011, s. 333–336.
- [11] Joseph L LeBlanc. *Learning Joomla! Extension Development: Creating Modules, Components, and Plugins with Php* Packt Publishing Ltd, 2007, s. 6–7.
- [12] Matt Butcher. *Learning Drupal 6 Module Development*. Packt Publishing Ltd, 2008, s. 8–24.
- [13] Angela Byron et al. *Using Drupal*. " O'Reilly Media, Inc.", 2008, s. 8–10.
- [14] Ondrej Kainz. "Advanced visual and non-visual approaches in estimating the parameters of multi-dimensional objects of real-world scene." In: *Doktorandská dizertacná práca*. Košice TUKE. 2017, s. 117.
- [15] Brian Bondari. *WordPress 3 Plugin Development Essentials*. Packt Publishing Ltd, 2011, s. 8.
- [16] W Jason Gilmore. *Beginning PHP and MySQL 4: From novice to professional*. Apress, 2010, s. 607–623.

# Oceňovanie okružných transakcií v cezhraničnom prenose

<sup>1</sup>Martin PLOTH, <sup>2</sup>Alexander MÉSZÁROS

<sup>1,2</sup>Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>martin.ploth@student.tuke.sk, <sup>2</sup>alexander.meszaros@tuke.sk

**Abstrakt** — Príspevok sa zaoberá problematikou oceňovania okružných transakcií v cezhraničnom prenose. Na základe analýzy nedostatkov štandardných oceňovacích stratégií v cezhraničnom prenose sú analyzované oceňovacie stratégie, ktoré boli navrhnuté na odstránenie týchto nedostatkov. Pre jednotlivé oceňovacie stratégie sú podrobne analyzované prístupy a postupy k problematike oceňovania cezhraničných prenosov. Posledná časť príspevku sa zaoberá porovnaním metódy priemernej účasti (AP) a jej modifikácií s metódou s a bez tranzitu (WWT). Sú zhodnotené klady a zápory oboch metód oceňovania okružných cezhraničných transakcií.

**Kľúčové slová** — cezhraničný prenos, metóda priemernej účasti, metóda zjednodušenej priemernej účasti, metóda modifikovanej priemernej účasti, metóda s a bez tranzitu

## I. ÚVOD

Z pohľadu celkových prevádzkových nákladov, ktoré určujú trhovú cenu elektrickej energie, tvoria náklady na prenos len určitú časť celkových prevádzkových nákladov. Avšak prenosová sústava predstavuje kľúčový prvok, ako v trhovom mechanizme, tak aj z hľadiska spoľahlivosti prevádzky prenosovej sústavy. Cieľom reštrukturalizácie trhu s elektrickou energiou je premena vertikálne integrovaného systému na horizontálne integrovaný systém. Prenosová sústava bola v minulosti realizovaná tak, aby spĺňala požiadavky vertikálne integrovaného energetického systému. V dôsledku transformácie na horizontálne integrovaný energetický systém bolo potrebné z dôvodu zabezpečenia spoľahlivosti a primeraných prevádzkových nákladov zabezpečiť prevádzku prostredníctvom prirodzeného monopolu, ktorý predstavuje nezávislý systémový operátor (NSO). Úlohou NSO je zabezpečiť stabilnú a bezpečnú prevádzku prenosovej sústavy a realizovať prenosové transakcie, tzv. okružné transakcie. Okružné transakcie existujú nezávisle od štruktúry trhu. Osobitnú problematiku oceňovania prenosových služieb predstavujú prenosy medzi prenosovými sústavami. Na túto problematiku sa zameriava táto práca [1].

## II. OCEŇOVANIE CEZHRANIČNÉHO PRENOSU

Oceňovanie cezhraničných transakcií prinieslo nový problém, a to, ako spravodlivo oceniť a prerozdeliť prenosové náklady medzi prevádzkovateľov prenosových sústav. Štandardné oceňovacie stratégie, ktoré sa najčastejšie používajú pri oceňovaní prenosových nákladov, vychádzajú z metód využívaných vo vertikálne integrovanom systéme. Avšak tieto metódy nedostatočne odzrkadľujú využitie prenosových sústav v prípade cezhraničnej okružnej transakcie, kedy dvom prenosovým spoločnostiam z dvoch prenosových oblastí je potrebné stanoviť mieru využitia prenosovej sústavy a spravodlivo oceniť náklady za prenos. Spravodlivý mechanizmus oceňovania prenosových nákladov cezhraničných okružných transakcií musí byť nastavený tak, aby priradil náklady korektným spôsobom k jednotlivým užívateľom prenosovej sústavy. Najviac pokročili v riešení tohto problému v krajinách EÚ, kde na základe implementácie smernice ES 1229/2003 vznikol model ETSO 2005, ktorý vychádzal zo štandardných oceňovacích modelov. Avšak v krátkom čase sa prejavili nedostatky modelu ETSO 2005, na základe čoho vzniklo niekoľko nových oceňovacích stratégií, ktoré mali odstrániť nedostatky oceňovania okružných transakcií využívaných v tomto modeli. Ide o metódu priemernej účasti (AP - average participation), metódu zjednodušenej priemernej účasti (SAP - simplified average participation), metódu modifikovanej priemernej účasti (MAP - modified average participation), metódu marginálnej účasti (MP - marginal participation), metódu s a bez

tranzitu (WWT - with and without transit) a metódu priemernej účasti aplikovanú k prenosom (APT - average participation applied to transits). Tieto metódy sa delia do dvoch skupín, prvú skupinu tvoria metódy, ktoré využívajú reálne toky výkonu pri stanovovaní veľkosti poplatkov za prenos medzi prenosovými sústavami, patria tu metódy AP, SAP, MP a MAO. Druhú skupinu tvoria metódy využívajúce koncept tranzitných tokov k priradeniu poplatkov za prenos medzi prenosovými sústavami, ide o metódu WWT a APT.

#### A. Metóda priemernej účasti (AP) a jej modifikácie

Metóda vychádza z predpokladu, že poplatok za okružnú transakciu je stanovený na základe miery využitia každej prenosovej linky. Prenosový tok je stanovený pomocou sledovacieho algoritmu, ktorý vychádza z predpokladu, že elektrina sa správa rovnako ako tekutina v potrubí. Z toho teda vyplýva, že algoritmus vie stanoviť mieru individuálneho činiteľa toku a protitoku výkonu na každej prenosovej linke. Priemerná účasť sa stanoví nasledujúcim spôsobom:

1. Pre každý generátor  $i$  zostavíme počet fyzických ciest. Cesta začína štartovacím uzlom, ktorý je uzol dodávky výkonu do siete, prechádza všetkými linkami, presne tak ako prechádza tok výkonu cez prenosovú sústavu a ukončený je záťažovými uzlami v prenosovej sústave.
2. Rovnako sú zostavené fyzické cesty pre dopyty, a to sledovaním proti-prúdu toku výkonu spotrebovanými užívateľmi. Je realizovaná fyzická cesta pre každý zdroj a dopyt.
3. Vytváranie fyzických ciest je stanovené na základe kritéria, ktoré prideluje náklady aktuálnych tokov na rôznych linkách od zdroja smerom k spotrebe prostredníctvom proporcionálneho prerozdelenia medzi odbermi. Toto kritérium nevyžaduje výber zdrojového uzla a má teoretické základy.

Nevýhodou metódy je skutočnosť, že v prípade zoskupenia užívateľov môže dochádzať k rozporuplným výsledkom. V prípade ak zdroje a záťaže sú zoskupené v jednom uzle, môže dochádzať k prideleniu rôznych taríf. Druhou nevýhodou je nepresné stanovenie alokačného pravidla, ktoré je však kľúčovým prvkom metódy [2], [3]. Z dôvodu odstránenia nedostatkov metódy priemernej účasti vznikli modifikácie tejto metódy, ide o metódu zjednodušenej priemernej účasti (SAP) a metódu modifikovanej priemernej účasti (MAP) [4]. Modifikácia SAP vychádza z predpokladu, že prenosová sústava v určitej oblasti sa vyrovnáva do jedného uzla, ktorý sa pripája k vyrovnanej generácii a záťaži. Z toho potom vyplýva, že vyrovnanie je rovnaké ako v prípade metódy AP a je aplikovaný rovnaký postup pri výpočte. V dôsledku toho je potrebné poznamenať, že len prepojené linky sú zahrnuté do výpočtu. Druhou modifikáciou je metóda MAP. Vychádza s predpokladu, že všetky zdroje a dopyty v určitej oblasti sú zjednotené do jedného uzla, avšak každý uzol môže byť pripojený len k jednej sieťovej jednotke, ktorá predstavuje MW bilanciu v danej oblasti. To teda znamená, že jednotka môže byť jeden zdroj alebo jeden odber. Nevýhody metódy SAP a MAP sú rovnaké. Pri zjednodušovaní prenosovej oblasti do jedného uzla dochádza ku skresľovaniu výsledkov.

#### B. Metóda marginálnej účasti (MP)

Metóda popisuje spôsob výpočtu a veľkosť toku v linke  $j$  a prírastok záťaže (generácie) v uzle  $i$  súvisiacej s nárastom prenášaného výkonu. Kalkulácia sa realizuje na základe zmeny toku vo vzťažnom uzle pre každého účastníka na trhu. Kľúčovým prvkom tejto metódy je správne stanovenie vzťažného uzla, keďže zmenou vzťažného uzla dochádza k dosiahnutiu rôznych výsledkov. Účastníci, ktorí sú najvzdialenejší od vzťažného uzla, majú výpočtom stanovené bežvzťažnosť účasti.

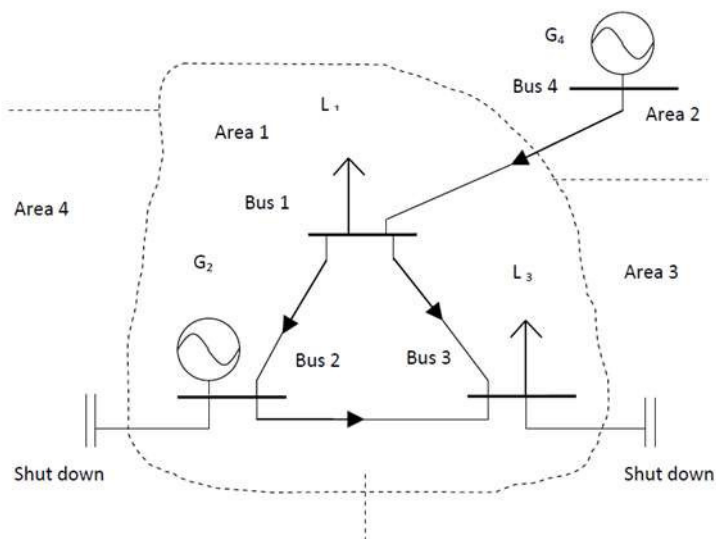
#### C. Metóda s a bez tranzitu (WWT)

Metóda WWT vychádza z koncepcie tranzitného toku výkonu. Metódu je možné definovať ako minimum medzi celkovým exportom a importom cezhraničných tokov v danej oblasti. Následne dôjde k vzniku dvoch sietí: jedna je pôvodná sieť a druhá je sieť bez tranzitných tokov. Odobranie tranzitu môže mať za následok zväčšenie toku výkonu a strát v sledovanej oblasti, pretože má vplyv na tok výkonu a straty v posudzovanej oblasti. Vplyv na prenos v sieťových tokoch kriticky závisí na smere tranzitu. V jednom smere toky a straty majú tendenciu narastať, a v opačnom smere klesať. Avšak to je len približné, pretože zmeny toku a iné nelineárne efekty komplikujú reálne sieťové toky. Následne sa porovnaním okružných poplatkov v oboch sieťach nájde finančný rozdiel medzi stanoveným poplatkom a poplatkom stanoveným po izolácii od tranzitných tokov. Tento rozdiel je použitý k stanoveniu veľkosti okružných poplatkov v cezhraničnom prenose. Problémom je kvantifikovanie vplyvu tranzitu na porovnané oblasti. Jednou možnosťou je stanovenie veľkosti tokov spôsobených samotnými tranzitnými tokmi.

Nevýhodou tejto oceňovacej stratégie je nedefinovanie spôsobu stanovovania veľkosti prenosového poplatku pre každú prenosovú oblasť.

### III. POROVNANIE METÓDY AP S METÓDOU WWT

Ako už bolo spomenuté skôr, na základe nedostatkov klasických oceňovacích metód, ktoré sa prejavili na modeli ETSO 2005, boli navrhnuté nové oceňovacie stratégie. Medzi hlavné oceňovacie stratégie patria metóda priemernej účasti (AP) a metóda s a bez tranzitu (WWT). Tieto metódy pristupujú k riešeniu problematiky rozličnými spôsobmi. Metóda AP sleduje každú transakciu a ich vplyvu na prenosovú sústavu, teda stanovuje mieru toku a protitoku. A keďže riešenie vplyvu každej transakcie so zložitou prenosovou sústavou a počtom transakcií exponenciálne narastá, vznikli modifikácie, ktoré tento nedostatok kompenzujú. Ide o zjednodušenie určitej časti prenosovej sústavy, a to vyrovnaním do jedného uzla pripojeného k vyrovnanej záťaži (SAP) alebo pripojením jedného uzla k jednej sieťovej jednotke (MAP). Naopak metóda WWT pracuje s dvoma modelmi prenosovej sústavy. Jeden model predstavuje reálnu prenosovú sústavu s tranzitnými tokmi, a druhý model predstavuje prenosovú sústavu očistenú od tranzitných tokov. Ako už bolo spomenuté skôr, pri porovnávaní týchto dvoch modelov smer tranzitného toku má významný vplyv pri stanovovaní prenosových poplatkov. Pre porovnanie metód AP a WWT sme využili 6-zbernicovú IEEE sústavu (Obr.1.) a výsledky pre porovnávané metódy sú uvedené v tabuľke Tab.1.



Obr. 1 Šesť-zbernicová sústava

Tabuľka 1  
 Porovnanie výpočtov metódy AP a metódy WWT [5]

6-zbernicová IEEE sieť								
			Výpočet tokov metódou AP				Výpočet tokov metódou WWT	
Zbernica		Toky [MW]	Zbernica		Generátor	Toky [MW]	S tranzitom	Bez tranzitu
Z	Do		Z	Do			Toky [MW]	Toky [MW]
1	2	200	1	2	G4	200	200	179
1	3	150	1	3	G4	150	150	171
2	3	350	2	3	G2	194,44	198,77	166,78
2	6	100	2	3	G4	155,56	151,23	113,6
3	5	200	2	6	G2	55,56	55,56	57,8
4	1	500	2	6	G4	44,44	44,44	38,23
			3	5	G2	77,776	78,786	56,36
			3	5	G4	122,224	121,2	122
			4	1	G4	500	500	380



#### A. Metóda priemernej účasti (AP)

Prvým krokom pri aplikovaní tejto metódy je výpočet príspevkov od generátorov pomocou algoritmu sledovania toku výkonov.

$$P_i = \sum_{j \neq i} |P_{(j,i)}| + P_{Gi} \quad \text{pre } i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

kde  $P_{(j,i)}$  je tok výkonov z uzla  $j$  do uzla  $i$ ,  $P_{Gi}$  je dodávka v uzle  $i$ . Keďže metóda nezohľadňuje proti-toky pri výpočtoch, príspevky od generátorov sú stále kladné.

Druhým krokom je výpočet okružných poplatkov od účastníkov. Ak by sme uvažovali s predpokladom, že generátory hradia všetky poplatky, tie by sa pridelili nasledovným spôsobom:

$$\text{Poplatok} = \frac{\text{príspevok generátora}}{\text{aktuálny tok}} \times \text{prevádzkové náklady} \quad (2)$$

#### B. Metóda s a bez prenosu (WWT)

Pri využití tejto metódy z dôvodu zjednodušenia nebudeme brať v úvahu straty, kapacitné obmedzenia a napätie je na rovnakej úrovni. Pre názornosť uvažujeme tiež s rovnakou dĺžkou vedenia, teda zjednodušená rovnica má tvar:

$$F_n = C_n \frac{U-U^W}{U} = C_n \frac{\sum L_i P_i - \sum L_i P_i^W}{\sum L_i P_i} = C_n \frac{\sum P_i - \sum P_i^W}{\sum P_i} \quad (3)$$

Na základe toho:

$$\text{Prenosový tok Area 1} = \min[\text{import}, \text{export}] \quad (4)$$

V našom prípade to je 300MW, teda je možné odstrániť odbery z Area 1 a importovaný tok výkonu klesne na 200MW. Okružné poplatky pre tranzitný tok sa stanovia:

$$\text{Okružný poplatok} = \frac{\text{prevádzkové náklady}}{\sum \text{tokov výkonu v pôvodnej Area 1}} \frac{(\sum \text{tok výkonu v pôvodnej Area 1} - \sum \text{tok výkonu v izolovanej Area 1})}{\sum \text{tokov výkonu v pôvodnej Area 1}} \quad (5)$$

Tento poplatok je stanovený všeobecne pre všetky linky. Poplatok pre každú oblasť sa stanoví nasledovne:

$$\text{Poplatok}_{xy} = \text{okružný poplatok} \frac{\text{Tranzitný tok z Area 1}}{\text{Tranzitný tok zo všetkých oblastí}} \quad (6)$$

Z porovnania týchto dvoch prístupov k oceňovaniu prenosových transakcií je možné konštatovať, že metóda AP využíva reálne prenosové dáta, a nie upravené, ako metóda WWT, pre ktorú sú upravené dáta nevyhnutnosťou pri zostavení modelu prenosovej sústavy bez tranzitu. Z toho dôvodu výsledky metódy WWT nepotvrdzujú teoretické predpoklady pre model prenosovej sústavy bez tranzitu a s nárastom zložitosti prenosovej sústavy sa tento problém len prehľbuje. Metóda AP poskytuje detailnejšie informácie o prenosoch každému účastníkovi trhu. Avšak modifikované metódy SAP a MAP nedokážu poskytnúť detailné informácie účastníkom trhu. Na druhej strane metóda WWT poskytuje komplexné informácie o tranzitných tokoch.

#### IV. ZÁVER

Na základe porovnania jednotlivých metód, je možné konštatovať, že metóda AP je výhodnejšia ako metóda WWT tak po technickej, ako aj po ekonomickej stránke. Prvou výhodou metódy AP je fakt, že vie poskytnúť presné prevádzkové údaje pre každú prenosovú linku. Túto schopnosť metóda WWT nemá, keďže vie stanoviť len mieru príspevku tranzitných tokov do prenosovej sústavy. Metóda SAP vie poskytnúť detailné informácie len v rámci tranzitných tokov medzi zjednodušenými oblasťami. Keďže metóda AP pracuje s reálnymi dátami, nie je potrebné ako pri metóde WWT vytvoriť model prenosovej sústavy bez tranzitných tokov. Metóda AP využíva reálne dáta pri výpočtoch a v prípade nesprávnych vstupných dát, výsledky z metódy AP poskytnú chybovú spätnú väzbu, čo metóda WWT nedokáže. Z čoho vyplýva že výsledky metódy AP sú spoľahlivejšie ako výsledky v prípade metódy WWT.

#### POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporená grantom agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky na základe zmluvy VEGA č. 1/0132/15.

#### LITERATÚRA

- [1] Shahidehpour, Mohammad; Yamin, Hatim; Li, Zuyi: " *Market Operations in Electric Power Systems*": Library of congress Cataloging in Publication Data, 2002, ISBN 0-47L-44337-9
- [2] C.E.R.C., " *Formulating Pricing Methodology for Inter-state Transmission in India*," C.E.R.C. New Delhi, Feb 2010, 2010, New Delhi
- [3] Ignacio Pérez- Arriaga; Luis Olmos Camacho; Francisco Javier Rubio Odériz: " *Report on Cost Components of Cross Border Exchanges of Electricity*," Instituto de Investigación Tecnológica Universidad Pontificia Comillas , Nov 2002, Madrid
- [4] Ardal, Frode: " *International trade with electric power*," Norwegian University of Science and Technology, Mar. 2009, Trondheim
- [5] Zhao, Chunyang: " *Allocation of Wheeling Charges and Congestion Managment for Cross-Border Trading*": University of Strathclyde, 2012, Glasgow

# Experimenty s autonómnym video-dohľadovým systémom monitorovania narušenia vonkajších priestorov

<sup>1</sup>Luboš OVSEŇÍK, <sup>2</sup>Ján TURÁN, <sup>3</sup>Jakub ORAVEC, <sup>4</sup>Peter DRAGAN

<sup>1,2,3</sup>Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>4</sup>Katedra elektrotechniky a mechatroniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>lubos.ovsenik@tuke.sk, <sup>2</sup>jan.turan@tuke.sk, <sup>3</sup>jakub.oravec@tuke.sk,  
<sup>4</sup>peter.dragan@student.tuke.sk

**Abstrakt** — Cieľom tejto práce bolo otestovať navrhnutý autonómny video-dohľadový systém pre monitorovanie narušenia vonkajších priestorov a experimentálnym testovaním vyselektovať čo najvhodnejšie typy senzorov pre video-dohľadový systém na vopred vytypovaných špecifických scenároch monitorovaného priestoru.

**Kľúčové slová** — Autonómny video-dohľadový systém, senzor, video manažment softvér

## I. ÚVOD

Posledné desaťročie bolo poznamenané radom nepriaznivých udalostí od ekonomickej krízy až po organizovaný zločin, teroristickými útokmi a prírodnými katastrofami. Cieľom tohto výskumu bolo vytvorenie nového autonómneho video-dohľadového systému s automatizovaným mechanizmom pre analýzu, ktorá umožní operátorom operačného strediska a ich prevádzkovateľom vyrovnáť sa s týmito problémami.

Vytvorená štúdia „Autonómneho video-dohľadového systému pre monitorovanie narušenia vonkajších priestorov“ je „otvorená“ pre množstvo ďalších kombinácií, môže slúžiť tiež ako základ pre akýkoľvek druh vysokovýkonného video-dohľadového systému, zo zariadení zameraných pre pripojenie veľkého množstva kamier, ktoré sú nainštalované na rôznych miestach. Z dôvodu čo najmenšej vyťaženia a zároveň čo najmenšej chybovosti operátorov operačného strediska, sú tieto kamery doplnené o senzory rôznych typov, ktoré sú vždy pridelené určitému monitorovanému úseku – konkrétnej kamere. To znamená, že operátor nemusí fyzicky kontrolovať každú jednu kameru, či nedošlo k narušeniu, ale automaticky dostane k náhľadu iba výstup obrazu z konkrétnej kamery, ktorá bola aktivovaná nejakým senzorom.

## II. EXPERIMENT S AUTONÓMNYM VIDEO-DOHĽADOVÝM SYSTÉMOM

Experiment s autonómnym video-dohľadovým systémom sa vykonával už na existujúcich troch kamerových reťazcoch, ktoré spolu zabezpečovali priestor o celkovej dĺžke cca. 30km. Komunikácia na reťazcoch medzi kamerovými stĺpmi bola realizovaná cez optické vlákna uložené asi 1 meter pod povrchom zeme. Spočiatku bol výstup z kamerových reťazcov vyvedený iba na operačné stredisko, to znamená, že operátori operačného strediska museli sledovať video záznamy z cca. 300 kamier súčasne a to formou prenosu živého obrazu z bezpečnostných kamier, poprípade archivovaného záznamu. Nakoľko sa jedná o dosť rozsiahly monitorovaný priestor, takáto možnosť video-dohľadu neprichádza v úvahu. Preto bolo nevyhnutnosťou doplniť kamerové reťazce o ďalšie zariadenia – senzory, ktoré uľahčia samotný video-dohľad. Operátor tak nebude musieť sledovať všetky kamery reťazcov, ale bude preverovať formou archivovaného video záznamu iba tie časti monitorovanej zóny, kde došlo k vyprodukovaní aktívneho alarmu, čo v značnej miere urýchľuje a zefektívňuje jeho prácu.

### A. Miesto vykonania experimentu

Na Obr. 1 je satelitná snímka monitorovaného priestoru v ktorom bol vykonaný experiment, ktorého hraničná čiara je znázornená žltou čiarou. Zároveň na tejto pomyslenej čiare sú umiestnené kamerové stĺpy kamerových reťazcov, a to tým spôsobom, že obraz jednej kamery je

prekrývaný obrazom z tej nasledujúcej, čoho výsledkom je kontinuálne pokrytie video-dohľadovým systémom celej monitorovanej zóny. Rozstup medzi kamerovými stĺpmi je rôzny – podľa potreby od 70 metrov do 250 metrov, pretože ako bolo uvedené vyššie, je potrebné zachovať kontinuálny obraz z celej zóny a monitorovaný priestor nie je rovný, ale „kľukatý“ s rôznou vegetáciou a rozdielnou nadmorskou výškou.






Obr.1. Satelitná snímka monitorovaného priestoru a rôzne scenáre zabezpečenia v ňom.

Ako vyplýva z uvedeného Obr. 1, v monitorovanom priestore je potrebné zabezpečiť všetky tri možné scenáre, ktoré nastali. Z tohto dôvodu je potrebné formou experimentu precízne vyselektovať, ktorý druh senzorov by bolo najvhodnejšie nasadiť pre daný scenár, nakoľko pri tak rozsiahlom systéme je časovo aj finančne náročné no zároveň neefektívne nasadiť kombinácie viacerých senzorov. Preto je vhodné testovaním vybrať tie, ktoré sa čo najviac blížila k hranici 100 %-nej identifikácie druhovej príčiny vzniku alarmu.

Experiment sa preto nebude vykonávať nasadzovaním senzorov po celej dĺžke kamerových reťazcov, ale priamo na troch vzniknutých scenároch v monitorovanom priestore, ktoré sú svojou povahou rozdielne a špecifické. Až na základe výsledkov z nich sa potom dajú aplikovať senzory na ostatné časti kamerových reťazcov. Špecifiká a výzvy pri zabezpečení jednotlivých scenárov sú uvedené v Tab. 1.

Tab. 1  
Špecifiká a výzvy pri zabezpečení jednotlivých scenárov

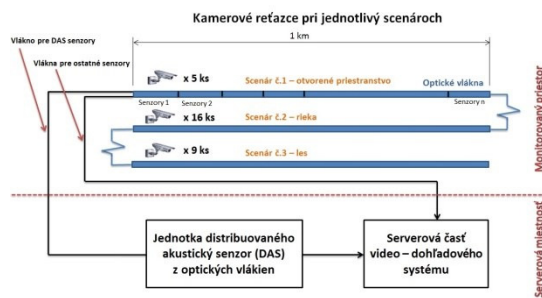
Scenár	Špecifikácia prostredia	Výzvy pri zabezpečení
<b>Scenár 1 – otvorená plocha</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- otvorená plocha</li> <li>- väčšinou pevné podložie</li> <li>- pohyb voľne žijúcej zveri</li> <li>- riziko pohybu vozidiel</li> <li>- riziko preletu nízko letiacich objektov</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- detegovať každý pohyb v danej zóne</li> <li>- detegovať nízko letiace objekty</li> </ul>
<b>Scenár 2 – rieka</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- znemožnenie nasadenia veľkého množstva druhov senzorov z dôvodu vody</li> <li>- riziko zvýšenia hladiny vody</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vybrať vhodný typ senzora, resp. senzorov</li> <li>- detegovať plávajúce objekty</li> </ul>
<b>Scenár 3 – les</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ťažko prístupný terén</li> <li>- pohyb voľne žijúcej zveri</li> <li>- pevné podložie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- inštalácia senzorov v ťažko prístupnom teréne</li> <li>- detegovať každý pohyb v danej zóne</li> <li>- správne nastaviť seizmické senzory z dôvodu koreňového systému v lese</li> </ul>

Pre experiment bol zvolený úsek z každého scenára s dĺžkou 1 kilometer (Obr. 2). Pre scenár č. 1 na otvorenom priestranstve tak na 1 kilometrový úsek pripadá 5 kamier z kamerového reťazca, pre scenár č. 2, kde monitorovanú zónu tvorí stred rieky pripadá až 16 kamier a pre posledný scenár č. 3 v lese pripadá 9 kamier.

Pri scenári č. 2 t.j. rieke sú samotné bezpečnostné kamery kamerového reťazca umiestnené na vysokých stĺpoch na vrchu hrádze a sú vybavené širokouhlými objektívmi tak, aby bolo možné monitorovať priestor medzi hrádzami a súčasne aj celú riekou.

#### B. Senzory použité pri experimente

Na experimentálne testovanie boli použité pre každý scenár štyri druhy senzorov – distribuovaný akustický senzor z optických vlákien, autonómny seizmický senzor, senzor na princípe snímania ľudského bio poľa a inteligentná detekcia pohybu v obraze.



Obr.2. Blokova schéma experimentu na kamerových reťazcoch.

Po implementácii všetkých senzorov a ich následnom prvom spustení je potrebné ich nakonfigurovať a prispôsobiť, nakoľko monitorovaný priestor každého scenára je iný, svojim spôsobom špecifický. Najčastejšie prípady narušenia monitorovaného priestoru sú prechody osobami alebo motorovými vozidlami. Existujú aj špecifické úseky monitorovanej zóny, ktorú tvorí stred rieky, ktorej tok smeruje do vnútrozemia monitorovaného priestoru. Narušenie takejto zóny môžu spôsobiť plávajúce objekty, ako sú člny alebo veľké sudy, v ktorých je možné pašovať osoby, poprípade rôzny tovar. Po prvom spustení všetkých senzorov z dôvodu rozdielnosti monitorovaného priestoru, je priam nevyhnutnosťou vykonať pár základných testov zameraných na tieto typy narušení pri jednotlivých scenároch.

### C. Experimentálny test autonómneho video-dohľadového systému

Experimentálne testovanie autonómneho video-dohľadového systému prebiehalo v monitorovanom priestore na vopred určených lokalitách – troch scenároch. Počas experimentu operátori operačného strediska prijímali a vyhodnocovali video záznamy z kamier kamerových reťazcov, počas 7 dní v 24 hodinovej prevádzke. Po prezretí takéhoto video záznamu, operátori uzavreli a potvrdili video záznam číselníkom vytvoreným video manažment softvérom (Obr. 3), v ktorom boli uvedené možné príčiny vzniku aktívneho alarmu v monitorovanom priestore. Zároveň každý číselník bol pre jednotlivé senzory vytvorený osobitne v prípade ich spätnej analýzy.



Obr.3. Číselník pre potvrdzovanie video záznamov vyvolaných senzorom.

Distribuovaný akustický senzor a autonómny seizmický senzor majú možnosť aj druhej identifikácie príčiny vzniku alarmu v monitorovanom priestore, ale tieto funkcie boli obmedzené iba na detekciu osôb, motorových vozidiel, voľne pohybujúcu sa zver a neidentifikovateľné príčiny (nie sú zadefinované v databáze – falošný alarm).

Nakoľko v monitorovanom priestore sa za štandardných okolností nenachádzajú žiadne osoby, ani motorové vozidlá, preto počas doby experimentu boli niekoľkokrát nasimulované aj takéto narušenia.

## III. VÝSLEDKY EXPERIMENTU

Experiment sa vykonával v monitorovanom priestore na troch vopred určených lokalitách – scenároch, a to na otvorenom priestranstve, rieke a v lese. Počas celej doby boli vyhodnocované všetky aktívne alarmy verifikáciou video záznamov vyvolaných senzormi. Spôsob uzatvárania udalosti bol vykonávaný formou číselníka pre potvrdzovanie video záznamov vyvolaných senzormi. Tieto dáta boli automaticky vyselektované a uložené do databázy na ich ďalšie podrobnejšie analyzovanie. Falošný alarm nastal vtedy, ak na číselníku alarmov na jednotlivých senzorov bola operátorom zvolená možnosť „nezistená príčina“ – operátor pri preverovaní alarmu počas verifikácie nevedel určiť zdrojovú príčinu vzniku alarmu. Taktiež niektoré alarmy mohli byť vyvolané mimo zorného poľa bezpečnostnej kamery (hlavne pri akustických a seizmických senzoroch), ale nakoľko nedošlo k vizuálnej verifikácii, dostali štatút „falošný alarm“. Preto úspešnosť určenia zdrojovej príčiny vzniku alarmu pri akustických a seizmických senzoroch môže byť vyššia ako udávajú výsledky experimentu.

*A. Distribuovaný akustický senzor (Tab. 2)*

Z tabuľky vyplýva, že tento druh senzora má najväčšiu úspešnosť pri nasadení v monitorovanom priestore s otvoreným priestranstvom a v lese. Pri určovaní všetkých druhov príčin vzniku alarmov v týchto scenároch je úspešnosť nad 90 %. Zároveň pri týchto prípadoch neznamena, že falošné alarmy, ktoré sú uvedené v tabuľke sú automaticky falošné. Tieto alarmy sa dajú neskôr skúmať a analyzovať, a ak sa podarí zistiť so 100 percentnou istotou zdrojovú príčinu ich vzniku, dajú sa tieto dáta pridať do databázy, a rozšíriť tak možnosti tohto systému. Takýmto spôsobom sa dá systém „učiť“, a tým pádom zvyšovať úspešnosť pri určovaní zdrojovej príčiny vzniku alarmu.

Pri scenári č. 2 – rieka, je úspešnosť verifikácie nad 70 %. Od prvého spustenia distribuovaného akustického senzora bol v tejto lokalite problém, nakoľko bolo nutné nasadiť softvérový filter kvôli periodickému „hľuku“ s nízkou frekvenciou prenášaného prúdom rieky, aby sa predišlo veľkému množstvu falošných alarmov. Vyfiltrovaná frekvencia zvuku je podobná ako frekvencia zvuku, ktorý je vydávaný pri chôdzi osoby alebo zveri. Preto je tam úspešnosť verifikácie nižšia ako pri ostatných scenároch.

Tab. 2  
 Úspešnosť experimentu s nasadením distribuovaného akustického senzora

Príčina vzniku alarmu	Distribuovaný akustický senzor				
	Scenáre	Počet alarmov	Alarm verifikovaný kamerou	Falošné alarmy	Úspešnosť verifikácie [%]
Osoba	Otvorená plocha	452	439	13	97,1
	Rieka	329	271	58	82,4
	Les	98	96	2	98,0
Motorové vozidlo	Otvorená plocha	125	122	3	97,6
	Rieka	27	25	2	92,6
	Les	12	12	0	100
Zver	Otvorená plocha	767	733	34	95,6
	Rieka	426	337	89	79,1
	Les	591	569	22	96,3
Nezistená príčina	Otvorená plocha	34	0	34	0
	Rieka	89	0	89	0
	Les	45	0	45	0
Celkový počet alarmov	Otvorená plocha	1378	1294	84	93,9 %
	Rieka	871	633	238	72,7 %
	Les	746	677	69	90,8 %

*B. Autonómny seizmický senzor (Tab. 3)*

Z výsledkov uvedených v tabuľke vyplýva, že podobne, ako v prípade distribuovaného akustického senzora, aj tento druh senzorov má najmenší počet falošných alarmov pri použití na otvorenom priestranstve alebo v lese. Zároveň pri použití senzora v blízkosti rieky, ktorá vyvoláva periodické seizmické otrasy sa znižuje ich úspešnosť. Podobne, ako aj akustické senzory vedia určovať zdrojovú príčinu vzniku alarmu, ale na rozdiel od nich, nie je možné falošné alarmy ďalej skúmať a analyzovať. Seizmické senzory sú zároveň oveľa citlivejšie a nakoľko nie je možné korigovať prahové úrovne seizmických otrasov v určenom prostredí, výsledkom je, že môže byť aktivovaných viacero alarmov pri jednej príčine vzniku alarmu. Seizmický senzor tak môže vyprodukovať o 40 % viac alarmov ako akustický senzor.

Tab. 3  
 Úspešnosť experimentu s nasadením autonómneho seizmického senzora

Príčina vzniku alarmu	Autonómny seizmický senzor				
	Scenáre	Počet alarmov	Alarm verifikovaný kamerou	Falošné alarmy	Úspešnosť verifikácie [%]
Osoba	Otvorená plocha	689	622	67	90,3
	Rieka	442	371	71	83,9
	Les	173	159	14	91,9
Motorové vozidlo	Otvorená plocha	181	167	14	92,3
	Rieka	46	38	8	82,6
	Les	26	24	2	92,3
Zver	Otvorená plocha	1289	1109	180	86,0
	Rieka	802	624	178	77,8
	Les	1181	1014	167	85,9
Nezistená príčina	Otvorená plocha	104	0	104	0
	Rieka	186	0	186	0
	Les	125	0	125	0
Celkový počet alarmov	Otvorená plocha	2263	1898	365	83,9 %
	Rieka	1476	1033	443	70,0 %
	Les	1505	1197	308	79,5 %

C. Bioradar (Tab. 4)

Na experiment bolo k dispozícii len 6 kusov tohto druhu senzora, preto bol nasadený len pre jeden úsek monitorovanej zóny v dĺžke 120 metrov a verifikovaný dvoma bezpečnostnými kamerami. Senzor funguje na princípe snímania ľudského biopoľa. Cieľom experimentu s týmto druhom senzora bolo zistiť, či pri jeho nasadení do podmienok, kde je veľký pohyb zveri, dokáže vyprodukovať aktívny alarm len pri pohybe osôb a na ostatné zdrojové príčiny vzniku alarmu nereagovať. Bioradar dosiahol úspešnosť nad 90 %.

Tab. 4  
 Úspešnosť experimentu s nasadením bioradaru

Príčina vzniku alarmu	Bioradar				
	Scenáre	Počet alarmov	Alarm verifikovaný kamerou	Falošné alarmy	Úspešnosť verifikácie [%]
Osoba	Les	173	159	14	91,9

D. Inteligentná detekcia pohybu v obraze (Tab. 5)

Inteligentná detekcia pohybu v obraze nedokáže rozpoznávať zdrojovú príčinu vzniku alarmu. Tú je možné identifikovať až po úspešnej verifikácii samotnou kamerou. Samotná úspešnosť sa tak pohybuje pri všetkých troch scenároch v monitorovanom priestore na hranici 80 %, nakoľko bolo vyvolaných veľa falošných alarmov, napríklad vplyvom vetra pohybujúcim korunami stromov.

Tab. 5  
 Úspešnosť experimentu s nasadením inteligentnej detekcie pohybu v obraze

Inteligentná detekcia pohybu v obraze						
Celkový počet alarmov	Scenáre	Alarm verifikovaný kamerou ako príčina:				Úspešnosť verifikácie [%]
		Osoba	Motorové vozidlo	Zver	Nezistená príčina / iné **	
7568	Otvorená plocha	629	211	1246	274	82,0 %
	Rieka	386	52	1422	146 **	75,6 %
	Les	198	29	1219	155	81,0 %

\*\* Pri scenári rieka bola zistená príčina v 26 prípadoch pohyb objektu na hladine rieky

Výsledky úspešnosti experimentu sú zobrazené v tabuľke Tab. 5. Nevýhodou tohto systému, takisto ako pri seizmickom senzore je to, že tento typ senzora taktiež produkuje zvýšený počet aktívnych alarmov pri jednej zdrojovej príčine vzniku alarmu. Vzniknutý problém je možné korigovať drobnými úpravami nastavení alebo predefinovaním zón aktivít na užšiu aktívnu plochu vyvolávajúcu alarm – ale s rizikom neupozornenia na reálnu príčinu vzniku alarmu.

Inteligentná detekcia pohybu v obraze iba ako jediná z testovaných senzorov dokáže vyprodukovať alarm v prípade narušenia monitorovanej zóny, ktorá je tvorená stredom rieky alebo jazera. Počas experimentu sa po prúde rieky plavili smerom do vnútrozemia nánosy odpadu spolu s kmeňmi stromov, ktorých rozmer nad hladinou vody bol väčší, ako vopred zadefinovaný rozmer objektu vyvolávajúci alarm. Systém v tomto prípade bez problémov vyprodukoval aktívny alarm.

Na základe experimentu nasadenia senzorov do video – dohľadového systému tak, aby sa tento systém stal autonómny pre použitie na monitorovanie narušenia vonkajších priestorov bolo dokázané, že nie všetky druhy senzorov sú vhodné pre aplikácie vo všetkých zadefinovaných scenároch. Distribuované akustické senzory a seizmické senzory je najvýhodnejšie nasadzovať do monitorovaného priestoru, pri ktorých nevzniká periodický akustický, alebo seizmický „šum“, nakoľko v týchto prípadoch je priam nevyhnutnosťou nasadzovať filtre, aby sa predišlo vyprodukovaniu veľkého množstva falošných alarmov. Najlepšie je preto ich nasadenie v lokalitách, ako je otvorené priestranstvo a les. Ak sa tieto senzory budú testovať dlhšiu dobu za účelom adaptácie v danom prostredí, pri používaní druhej identifikácie vzniku alarmu a jej 100 % verifikácii, bude možné nasadiť aktívne filtre na tie druhy príčiny vzniku alarmu, ktoré nie sú záujmom bezpečnosti v monitorovanom priestore. Napríklad voľný pohyb zveri, ktorý je príčinou viac ako 50 % vzniknutých alarmov.

Za účelom experimentu bol použitý ako senzor aj bioradar. Tento druh senzora sa snaží odhaliť prítomnosť ľudského biopoľa. Keďže jeho úspešnosť je vyššia ako 90 %, umožňuje potlačiť veľké množstvo alarmov, ktoré nie sú spôsobené prechodom osoby. Nasadenie takéhoto typu senzora tak pripadá v úvahu pre všetky scenáre, ale pri podmienke, že objektom záujmu bude len osoba (napríklad v ťažko prístupnom teréne, kde motorové vozidlá nemajú prístup). Tento druh senzora má skôr reálne využitie pre operatívne (dočasné) účely – jednak z pohľadu jeho jednoúčelnosti, no zároveň aj veľmi vysokej obstarávacej ceny.

Pri použití inteligentnej detekcie pohybu v obraze bolo vyprodukované veľké množstvo aktívnych alarmov z dôvodu vplyvu vonkajších rušivých elementov. Nakoľko tento softvérový

senzor funguje na princípe prekryvania obrazov – zmien v obraze, je veľmi náchylný na vplyvy vonkajšieho počasia, ako je vietor alebo hmla. Problém môže nastať hlavne v letnom čase, keď použitím externého infračerveného prísvitv v nočnej dobe, ktorý svojim spôsobom produkuje aj teplo, „pritiahne“ pred objektív bezpečnostnej kamery veľké množstvo hmyzu, ktoré budú permanentne prekryvať obraz, čo má za následok produkovanie kontinuálneho alarmu. Naopak tento typ senzora ako jediný z testovaných bol schopný odhaliť pohyb na hladine rieky. Tento druh senzora má využitie prakticky pri všetkých scenároch, ale pri použití v kombinácii s iným senzorum s aplikáciou „AND“ pravidla, čím sa dá rapídne zredukovať falošný počet alarmov.

Zhrnutie celého experimentu z pohľadu efektívnosti nasadenia jednotlivých testovaných senzorov je na Obr. 4 pre všetky scenáre.



Obr.4. Efektívnosť nasadenia testovaných senzorov pre všetky scenáre.

#### IV. ZÁVER

Experiment sa vykonával na existujúcom kamerovom reťazci, spočiatku bez implementovaných senzorov, kde boli vytypované tri špecifické úseky (scenáre) monitorovaného priestoru o dĺžke 1 kilometer. Scenáru č. 1 - otvorenému priestranstvu pripadalo 5 kamier, pre scenár č. 2 – rieka 16 kamier a pre scenár č. 3 v lese pripadalo 9 kamier kamerového reťazca. Do týchto scenárov boli aplikované 4 druhy senzorov, konkrétne distribuovaný akustický senzor, seizmický senzor, bioradar a senzor detegujúci pohyb v obraze z bezpečnostnej kamery.

Cieľom experimentu bolo na základe vykonaných testov vyselektovať čo najvhodnejšie senzory pre video-dohľadový systém na vopred vytypovaných špecifických scenároch monitorovaného priestoru. Testovanie trvalo 7 dní, 24 hodín denne a vykonávali ich operátori verifikovaním video záznamov cestou číselníka video manažment softvéru (Obr. 3).

Počas tejto doby bolo vyhodnotených necelých 16 000 alarmov vyprodukovaných testovanými senzormi na všetkých troch scenároch. Ako vyplýva z Obr. 4, pre scenár č. 1 na otvorenom priestranstve je najefektívnejší distribuovaný akustický senzor (úspešnosť po verifikácii 93,9 %), pred seizmickým a senzorom na princípe detekcie pohybu v obraze videa. Scenár č. 2 tvoriaci monitorovaním rieky bol problémovým pre akustický a seizmický senzor, naopak najvyššia efektívnosť bola dosiahnutá senzorom detekcie pohybu v obraze videa – 75,6 %. Bioradar v uvedených scenároch nebol nasadený. Ten bol použitý pri scenári č. 3 v lese, kde dosiahol 91,9 % úspešnosť pri detekovaní osôb. Nakoľko je schopný detekcie iba ľudí, nie je možné ho nasadiť ako samotný senzor, ale v kombinácii s takým, ktorý má lepšie detekčné schopnosti pri ostatných objektoch záujmu, ktoré spôsobujú narušenie monitorovanej zóny (napríklad motorové vozidlá).

Z experimentálneho testovania senzorov vyplýva, že najrobustnejším, no zároveň najefektívnejším senzorom pre autonómne video – dohľadové systémy je distribuovaný akustický senzor z optických vlákien. V porovnaní s ostatnými senzormi vyprodukoval iba 3000 alarmov z celkového počtu 16000, no zároveň s vyššou percentuálnou úspešnosťou.

#### POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou (KEGA) Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky na základe projektu č. 023TUKE-4/2017. Táto práca je tiež výsledkom zmluvy č. VEGA 1/0772/17 - Lokalizácia osôb na základe detekcie ich vitálnych funkcií UWB senzormi krátkého dosahu.

#### LITERATÚRA

- [1] F. Nilsson, "Intelligent Network Video: Understanding Modern Video Surveillance Systems", CRC Press, 2008.
- [2] Z. Ma, C. Qian, "Intelligent Video Surveillance: Systems and Technology", CRC Press, 2009.
- [3] A. Caputo, "Digital Video Surveillance and Security", Butterworth-Heinemann, 2nd ed., 2014.



# Návrh autonómneho video-dohľadového systému monitorovania narušenia vonkajších priestorov

<sup>1</sup>Luboš OVSEŇÍK, <sup>2</sup>Ján TURÁN, <sup>3</sup>Jakub ORAVEC, <sup>4</sup>Peter DRAGAN

<sup>1,2,3</sup>Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>4</sup>Katedra elektrotechniky a mechatroniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>lubos.ovsenik@tuke.sk, <sup>2</sup>jan.turan@tuke.sk, <sup>3</sup>jakub.oravec@tuke.sk,  
<sup>4</sup>peter.dragan@student.tuke.sk

**Abstrakt** — Cieľom tohto článku je poskytnúť široký náhľad k téme „autonómny video-dohľadový systém pre monitorovanie narušenia vonkajších priestorov“, nakoľko najmodernejšie technológie majú možnosť poskytnúť v dnešnej dobe čo najväčšiu ochranu osobnej slobody, života, majetku a spoločnosti. Súčasťou je taktiež opis návrhu takéhoto systému na základe experimentálneho testovania vybraného typu senzorov.

**Kľúčové slová** — Autonómny video-dohľadový systém, senzor, video manažment softvér

## I. ÚVOD

Posledné desaťročie bolo poznamenané radom nepriaznivých udalostí od ekonomickej krízy až po organizovaný zločin, teroristickými útokmi a prírodnými katastrofami. Tieto všetky udalosti viedli k transformácii zmýšľania ľudí, čo sa týka bezpečnosti. Bolo nainštalované nespočetné množstvo kamier, čo viedlo k novým výzvam v oblastiach riadenia kamerových systémov, prenosu, spracovania a vyhodnotenia získaných dát. Dnešné operačné strediská majú na starosti stovky, ba dokonca tisícky kamier, čo má za následok preťaženie operátorov kamerových systémov, nakoľko pri sledovaní takéhoto množstva kamier je veľmi náročné s istotou potvrdiť, či v monitorovanej zóne došlo alebo nedošlo k neoprávnenému narušeniu.

Cieľom tohto výskumu je vytvorenie nového autonómneho video-dohľadového systému s automatizovaným mechanizmom pre analýzu, ktorá umožní operátorom operačného strediska a ich prevádzkovateľom vyrovnat' sa s týmito problémami. Vďaka automatizovanému procesu sa video-dohľadový systém premení na proaktívny informačný systém. Technologický pokrok, ako aj stále rastúci dopyt v oblasti bezpečnosti, sa ukázal byť obrovským spúšťačom pre výskum zabezpečovacej techniky, ako je napríklad aj táto štúdia. Predkladaná práca prispieva k ochrane osobnej slobody, života, majetku a spoločnosti tým, že pomáha prevencii útokov zločinu a terorizmu, ktoré oslabujú našu osobnú slobodu. V tejto štúdii výskumnej metodológii dizajnu video-dohľadového systému boli použité najmodernejšie technológie, ktoré sú v súčasnosti dostupné na trhu. Pri plnení tohto výskumu boli riešenia hľadané v úzkej spolupráci s bezpečnostnými orgánmi v snahe, aby táto štúdia bola čo najdetailnejšia.

## II. VIDEO - DOHĽADOVÉ SYSTÉMY

Video-dohľadové systémy sa už tradične skladajú z kamier, ktoré slúžia na snímanie videa, ktoré je možné sledovať na obrazovke. Tieto systémy sú implementované za účelom poskytnúť prehľad o veľkom priestore pre obmedzený počet operátorov. Ich cieľom je odhaliť kritické situácie, ktoré môžu nastať v monitorovanom priestore a v závislosti od závažnosti situácie prijať adekvátne opatrenia.

Operátori často pracujú v miestnosti s množstvom monitorov, ako je to znázornené na Obr. 1, a ich úlohou je neustále monitory sledovať. Niektoré monitory zobrazujú video stream z jednej kamery a niektoré výstup súčasne z niekoľkých kamier na jednej obrazovke alebo postupne. Nie vždy je však možné sledovať výstup zo všetkých kamier naraz. Všetky video záznamy z každej kamery sa ukladajú na záznamové médium, ktoré sa po nejakom incidente, ktorý môže nastať v monitorovanom priestore, použijú ako dôkazný materiál.

Obrovskou nevýhodou tohto prístupu je, že operátori nie sú schopní zabrániť incidentom alebo obmedziť ich vznik v reálnom čase, pretože video záznamy sa väčšinou prezerajú až potom. Ďalšou nevýhodou je, že dohľadanie správnych video záznamov trvá dlho, obzvlášť, ak sa na incident sa príde aj s niekoľkohodinovým odstupom a monitorovaný priestor pozostáva z veľkého počtu kamier [1].

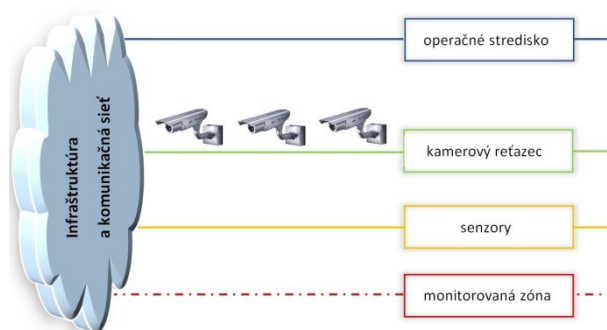
Z tohto dôvodu je najlepšie navrhnuť autonómny video-dohľadový systém, ktorý operátorovi „doručí“ iba konkrétny video záznam, na ktorom sa nachádza priebeh incidentu v monitorovanej zóne. Najlepším riešením takéhoto systému je použitie senzorov slúžiacich na notifikáciu operátora o incidente, ktorý je priamo prepojený s konkrétnou kamerou slúžiacou na verifikáciu relevantnosti incidentu [2].



Obr.1. Operačné stredisko [3].

### III. ČASTI VIDEO-DOHĽADOVÉHO SYSTÉMU

Autonómny video-dohľadový systém pre monitorovanie narušenia vonkajších priestorov sa skladá z viacerých blokov, ako je to uvedené na Obr. 2. Základnou časťou je infraštruktúra, komunikačná a dátová sieť, ktoré slúžia na napájanie zariadení elektrickým napätím a zabezpečuje dátovú komunikáciu medzi nimi. Po zadefinovaní si zóny, ktorá bude monitorovaná v monitorovanom priestore sa na túto pomyslenú čiaru rozmiestnia kamery kamerového reťazca video-dohľadového systému spolu so senzormi. Verifikáciu prijatých alarmov prestredníctvom vyhodnotenia video záznamov z bezpečnostných kamier vykonávajú operátori operačného strediska.



Obr.2. Blokovaná schéma video-dohľadového systému.

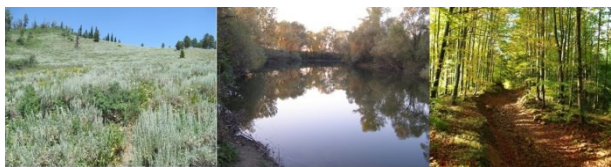
#### A. Monitorovaný priestor

Monitorovaný priestor je časť územia (miesto), ktoré je objektom záujmu za účelom jeho zabezpečenia. Pri zabezpečení veľkých priestranstiev, ako sú napríklad veľké priestranstvá (letiská, priemyselné zóny, vodné diela, elektrárne, ...) alebo štátne hranice, to nikdy nie je jednoduché, pretože vo väčšine prípadov tam spočiatku neexistuje žiadna infraštruktúra a samotný terén je rozmanitý, a to od rovín, na ktorých sa nachádza rôznych typov vegetácie, cez zastavané priestory, až po husto zalesnené oblasti.

Taktiež vo voľnom priestranstve nie sú všetky narušenia monitorovanej zóny automaticky prípadom nelegálneho narušenia – napríklad voľný pohyb zveri v prírode.

Z tohto dôvodu v otvorenom priestranstve môžu nastať napríklad tieto tri základné scenáre, pri ktorých je potrebné zabezpečiť monitorovaný priestor (Obr. 3):

1. roviny s rôznym typom vegetácie,
2. rieky,
3. zalesnené oblasti.



Obr.3. Naše tri základné scenáre monitorovaného vonkajšieho priestoru (rovina, rieka, zalesnená oblasť).

### B. Infraštruktúra

Elektrická energia je potrebná pre napájanie nielen bezpečnostných kamier, ale aj ostatných technológií, ktoré sú nevyhnutné pre samotný chod video-dohľadového systému, ako sú napríklad optické switche, prídavné podsvietenia pre nočný režim kamier, atď. Preto je nevyhnutné takúto infraštruktúru ešte pred vybudovaním kamerového reťazca v monitorovanom priestore nainštalovať. Aby sa predišlo výpadku fungovania systému z dôvodu výpadku energie, ako redundantná záloha sa používajú diesel generátory v kombinácii s UPS (zdroj nepretržitého napätia) akumulátormi, ktoré vykonajú obnovu elektrickej energie bez výpadku kamier v monitorovanej zóne. Tieto záložné zdroje energie sú schopné na jednu palivovú nádrž zásobovať kamerový reťazec až 72 hodín nepretržite [3].

### C. Komunikačná a dátová sieť

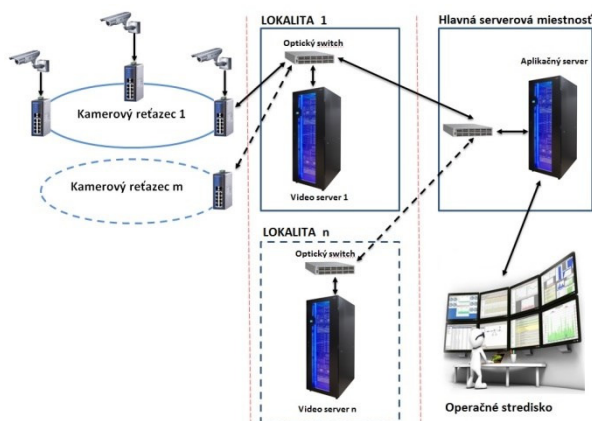
Pre komunikačnú a dátovú infraštruktúru rozsiahlych video-dohľadových systémov sa ako najvhodnejšie prenosové médium javí optické vlákno. Okrem toho, že optické vlákna sú momentálne najrýchlejším prenosovým médiom, zároveň sú aj bezpečné, keďže sú odolné voči elektromagnetickému rušeniu, nakoľko fungujú na princípe vysielania a prijímania svetelného lúča, a preto sa dajú inštalovať v blízkosti elektrických káblov bez straty dát.

Základným komunikačným prvkom prenosu cez optické vlákna je optický sieťový prepínač, ktorý okrem komunikácie cez optické vlákna slúži aj ako prevodník z optického signálu na elektrický, čo umožňuje pripojiť do optickej siete zariadenia cez často používané ethernet rozhranie (napríklad bezpečnostná kamera).

### D. Kamerový reťazec

Kamerový reťazec je súbor kamier, ktoré sú usporiadané v monitorovanom priestore takým spôsobom, že jedna kamera „vidí“ pred seba na tú nasledujúcu tak, aby bol vytvorený video záznam z bezpečnostných kamier celej monitorovanej zóny.

Z dôvodu dátovej limitácie pri komunikačnej infraštruktúre cez optické vlákna, ktorá je na úrovni 1 Gb/s pri rozsiahlych video-dohľadových systémoch je potrebné vytvoriť kamerové reťazce, ktoré budú združovať určité množstvo kamier tak, aby došlo ku kontinuálnemu prenosu videa do video servera bez výpadkov alebo straty dát.



Obr.4. Bloková schéma prepojenia kamerových reťazcov s aplikačným serverom.

Ak zoberieme napríklad kameru, ktorá pri FullHD rozlíšení má dátový tok cca. 15 Mb/s, tak do jedného kamerového reťazca je možné zapojiť maximálne 65 kamier. Pri monitorovaní rovinatého úseku, kde je postačujúce rozmiestniť kamery od seba s 200 metrovým rozstupom sa dá týmto spôsobom pokryť až 13 kilometrov úseku video-dohľadom pri jednom kamerovom reťazci. Samotný počet kamerových reťazcov je potom obmedzený počtom portov optického sieťového prepínača, ktorý je prepojený do video serverov na danej lokalite. Ak video-dohľadový systém bude pozostávať z ešte väčšieho počtu kamerových reťazcov, ktoré sa fyzicky nedajú realizovať len z jednej lokality s video servermi, je možné zriadiť nové lokality s ďalšími video servermi, ktoré budú navzájom prepojené obdobným spôsobom ako kamerové

reťazce cez optický sieťový prepínač s hlavným aplikačným serverom. Operátor operačného strediska tak bude vstupovať do všetkých video záznamov cestou klientskej aplikácie cez aplikačný server (Obr. 4) [3].

#### *E. Sensory*

Sensory sú zariadenia schopné zhromažďovať jednoduché merania fyzikálnych javov spôsobených pohybom osôb, motorových vozidiel, poprípade iných subjektov v blízkosti monitorovanej zóny. Sensory je možné využiť aj ako upozornenie o prítomnosti subjektov, ktoré sa pohybujú v oblasti monitorovanej zóny. Na tento účel sa zvyčajne používajú pasívne sensory schopné odhaliť narušenie monitorovanej zóny, ktoré neumožňujú určiť a verifikovať, aký subjekt vyvolal samotné narušenie. Z tohto dôvodu sa tieto sensory používajú v kombinácii s inými, ktoré sú schopné klasifikovať druhovú príčinu vzniku alarmu (napríklad kamera). Sensory používané na detekciu monitorovanej zóny možno rozdeliť do dvoch hlavných kategórií: podzemné a nadzemné sensory.

**Podzemné sensory** sú zvyčajne klasifikované ako pasívne sensory, čo znamená, že sú schopné odhaliť, že došlo k narušeniu monitorovaného priestoru alebo pohyb v monitorovanom priestore ešte prebieha, ale štandardne nemajú sami o sebe možnosť automaticky klasifikovať zdrojovú príčinu vzniku alarmu a určiť smer pohybu narušenia. Napriek tomu sa verzie podzemných sensorov využívajú vo veľkom počte, nakoľko ich bez špeciálnych zariadení prakticky nie je možné odhaliť. Aktívne verzie podzemných sensorov už dokážu odhaliť aj zdrojovú príčinu vzniku alarmu s vysokou presnosťou klasifikácie objektu, ktorý spôsobil narušenie monitorovaného priestoru a zároveň určiť jeho smer pohybu. Patria sem napr. seizmické sensory, magnetické sensory, elektromagnetické sensory, hydroakustické sensory a sensory z optických vlákien.

**Nadzemné sensory** sú zariadenia, ktoré umožňujú identifikovať a určiť zdrojovú príčinu vzniku alarmu, a to prevažne tým spôsobom, že sa samotný vzniknutý alarm verifikuje za pomoci kamier – zachytáva sa obraz. Neplatí to však vo všetkých prípadoch. Nadzemné sensory, ako sú napríklad aktívne infračervené bariéry, sú schopné len odhaliť prechod, ale nie sú schopné verifikácie. Oproti podzemným sensorom je ich možné rýchlejšie odhaliť, a to aj bez špeciálnych zariadení, nakoľko ich je ťažké maskovať. Patria sem napr. akustické sensory, pasívne a aktívne infračervené sensory, inteligentná video-detekcia pohybu a podzemné radary.

#### *F. Operačné stredisko*

Operačné stredisko je zvyčajne režimové pracovisko, kde sa spracúvajú, analyzujú a vyhodnocujú všetky udalosti, ktoré nastali v monitorovanom priestore. Z bezpečnostného hľadiska je obyčajne na operačnom stredisku lokalizovaná aj hlavná serverová miestnosť. Operačné stredisko má jedného vedúceho zmeny, ktorý prijíma a riadi bezpečnostné opatrenia pri vzniku mimoriadnej situácii v monitorovanom priestore a dostatočný počet operátorov, ktorí vyhodnocujú prichádzajúce alarmy formou preverovania video záznamu z kamerových reťazcov. Samotné previerky videozáznamov sa vykonávajú cez osobný počítač, na ktorom je nainštalovaná a spustená klientska aplikácia video manažment softvéru. Takáto prevádzka musí byť zabezpečená 24 hodín, 7 dní v týždni (24/7).

### IV. NÁVRH AUTONÓMNEHO VIDEO-DOHĽADOVÉHO SYSTÉMU

Po zadefinovaní si všetkých prvkov a blokov video-dohľadového systému, ktoré sú uvedené v predošlých kapitolách, je potrebné logicky ich navzájom poprepájať tak, aby tvorili funkčný celok. Samotný video-dohľadový systém tak môžeme rozdeliť do troch blokov, a to sensorový, systémový a operačný (Obr. 5).

#### *A. Sensorová línia*

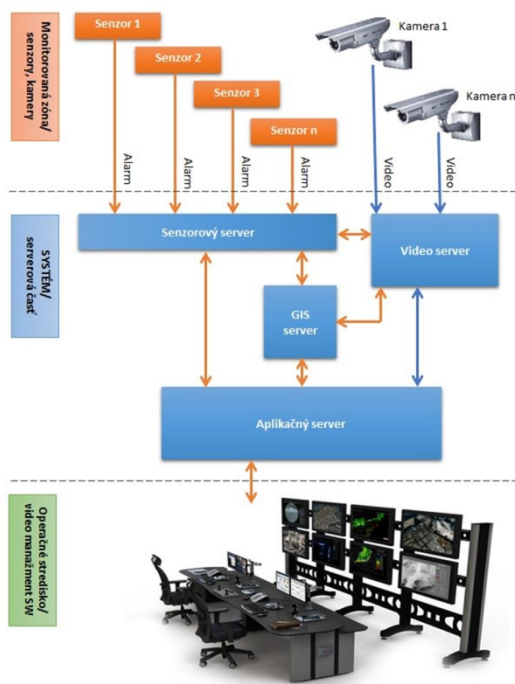
Sensorová línia sa nachádza priamo v monitorovanej zóne, kde je potrebné vedieť o každom jednom neoprávnenom pohybe. Sensorová línia pozostáva z viacerých sensorov, poprípade ich kombinácií a samotných kamier. Výstupy a signály z tejto časti video-dohľadového systému sú poskytované pre ďalšie spracovanie do serverovej časti systému.

#### *B. Serverová časť systému*

Serverová časť systému je „srdcom“ celého video-dohľadového systému. Zabezpečuje spracovanie a archiváciu dát zo sensorovej línie a ich vyhodnotenie tak, aby samotný operátor vedel jednoznačne určiť, či došlo alebo nedošlo k narušeniu monitorovanej zóny. Serverová časť systému pozostáva z viacerých serverov, a to – sensorového, GIS-ového, video a aplikačného servera.

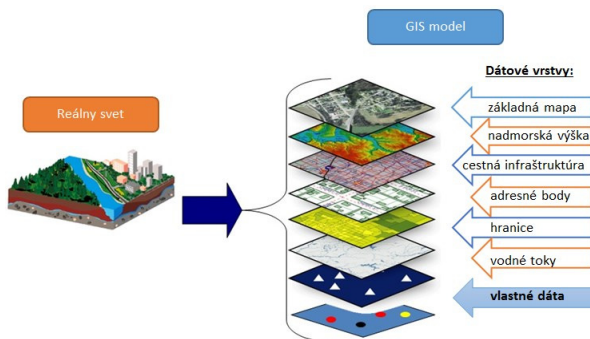
Na **sensorovom serveri** beží viacero softvérov a ich služieb. Nakoľko každý výrobca senzora má vyvinutý vlastný softvér s databázami a je potrebné spracovať dáta z viacerých sensorov zo sensorovej línie od rôznych výrobcov, preto je potrebné dáta prekonvertovať

a ukladať v jednotnej unifikovanej forme do vlastnej databázy, ktoré následne dokážu spracovať ďalšie servery serverovej časti systému.



Obr.5. Bloková schéma návrhu autonómneho video-dohľadového systému.

**Geografický informačný systém (GIS)** je softvér, ktorý umožňuje užívateľovi pracovať s mapovými súborami s možnosťou interaktívnej integrácie s vlastnými databázami informácií o konkrétnych miestach. GIS systém sa skladá z viacerých vrstiev, ktoré spolu vytvárajú obraz o reálnej situácii na konkrétnom mieste monitorovanej zóny, kde vznikol alarm (Obr. 6).



Obr.6. Bloková schéma princípu implementácie vlastných dát do mapového rozhrania GIS.

**Video server** slúži na archiváciu video záznamu získaného v monitorovanej zóne. Tieto servery musia mať čo najväčšie diskové pole, nakoľko je niekedy potrebné archivovať video záznamy z rádovo stoviek kamier. Z tohto dôvodu sa zvykne pri jednom video-dohľadovom systéme používať aj viacero video serverov. Video server je priamo prepojený so sensorovým serverom, z ktorého databázy sa ku konkrétnemu videu záznamu prideliuje časová známka z konkrétneho senzora, čo má za následok rýchlejšiu orientáciu pri spätnom určovaní príčiny vzniku alarmu formou verifikácie cez video záznam.

**Aplikačný server** je hlavný server, na ktorom je nainštalovaný a nakonfigurovaný video manažment softvér a jeho služby. Tento server priamo komunikuje so sensorovým, GIS a video serverom za účelom spracovania dát pre video manažment softvér. Do aplikačného servera operátor operačného strediska môže vstupovať cez počítač, na ktorom je nainštalovaná aplikácia klienta video manažment softvéru za účelom sledovania výstupu kamier v reálnom čase, poprípade archivované záznamy z monitorovanej zóny. Aplikačný server disponuje aj vlastnou databázou, do ktorej sú ukladané dáta z klienta aplikácie video manažment softvéru za účelom ďalšej analýzy a porovnania štatistík vyhodnocovaných alarmov.

### C. Softvér pre video manažment

Video manažment softvér je serverové riešenie video-dohľadu nad monitorovanou zónou. Samotný softvér je nainštalovaný na hlavnom aplikačnom serveri a ide o otvorený systém, ktorý komunikuje so všetkými ostatnými servermi za účelom zbierania a spracovania dát z monitorovanej zóny. Operátor operačného strediska vstupuje do tohto systému po sieti cez počítač, na ktorom je nainštalovaná klientska aplikácia a podľa pridelenej úlohy vykonáva opatrenia, ktoré nastali v monitorovanej zóne (Obr. 7).

Video manažment softvér by mal mať aspoň tieto funkcie:

- video náhľad v reálnom čase a archívny záznam,
- exportovanie video záznamov,
- alarm manažér – prepojenie videa s rôznymi typmi senzorov,
- video navigátor – pohybovanie a približovanie PTZ kamier,
- interaktívne viac vrstvové zobrazenie máp z monitorovanej zóny,
- možnosť prepojenia s ďalšími systémami.



Obr.7. Klient video manažment softvéru XProtect Smart Client od firmy Milestone.

## V. ZÁVER

Cieľom našej práce bolo navrhnuť autonómny video-dohľadový systém pre monitorovanie narušenia vonkajších priestorov. Vonkajší monitorovaný priestor, ktorý je niekedy nevyhnutné zabezpečiť video-dohľadovým systémom je často aj o dĺžke niekoľko desiatok kilometrov. Pri návrhu a teoretickom rozbere takto rozsiahleho video-dohľadového systému bolo potrebné navrhnuť systém tak, aby bol schopný pokryť čo najväčšiu časť monitorovaného priestoru a zároveň operátori operačného strediska čo najjednoduchším a najefektívnejším spôsobom verifikovali udalosti, ktoré nastali v monitorovanom priestore.

Z praktického hľadiska bola zvolená možnosť usporiadania bezpečnostných kamier do takzvaných kamerových reťazcov, kde samotné kamery, umiestnené na kamerových stĺpoch sú nainštalované tak, aby jedna kamera svojim zorným poľom prekrývala tú nasledujúcu, za účelom získania kontinuálneho video obrazu celej monitorovanej zóny. Komunikácia a prenos dát z kamerových reťazcov boli realizovaná optickými vláknami so sieťou topológiou Turbo Ring, ktorá zabezpečuje redundanciu siete.

Pri rozsiahlych aplikáciách video-dohľadových systémov je nutné použiť video manažment softvér, ktorý je nainštalovaný na aplikačnom serveri. Toto riešenie odbremení operátorov operačného strediska od sledovania videa v reálnom čase z monitorovaného priestoru. Po implementácii vhodných senzorov do kamerového reťazca, sa tak systém stáva autonómny, pretože operátor už nie je nútený sledovať obraz z niekoľkých kamier, ale len tie, ktoré budú označené alarmom zo senzora. Sensory slúžia na princípe snímania fyzikálnych veličín – napríklad akustiky alebo seizmicky, kde pri narušení sa tieto veličiny menia a vyprodukujú alarm.

## POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná agentúrou KEGA na základe projektu č. 023TUKE-4/2017 a je tiež výsledkom zmluvy VEGA 1/0772/17.

## LITERATÚRA

- [1] F. Nilsson, "Intelligent Network Video: Understanding Modern Video Surveillance Systems", CRC Press, 2008.
- [2] Z. Ma, C. Qian, "Intelligent Video Surveillance: Systems and Technology", CRC Press, 2009.
- [3] A. Caputo, "Digital Video Surveillance and Security", Butterworth-Heinemann, 2nd ed., 2014.

# Aplikácia pre podporu procesov v prostredí meracieho strediska v automobilovom priemysle

*Martin SARNOVSKÝ, Petra CIBULOVÁ*

Department of Cybernetics and Artificial Intelligence, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>martin.sarnovsky@tuke.sk, <sup>2</sup>petra.cibulova@student.tuke.sk

**Abstract** — automobilový priemysel predstavuje jedno z najdôležitejších odvetví svetovej ekonomiky. Slovensko momentálne patrí k top automobilovým producentom na svete. Vo výrobnom procese automobilu zohrávajú dôležitú úlohu meracie strediská, ktorých cieľom je odhaliť aj tie najmenšie odchýlky reálnych parametrov vyrobených dielov. Práca prezentovaná v článku sa venuje dôkladnej analýze súčasného stavu na konkrétnom meracom stredisku a na základe tejto analýzy navrhuje najvhodnejšie riešenie pre zlepšenie vybraných procesov, ktoré prebiehajú na tomto meracom stredisku. Ďalej práca popisuje návrh riešenia, požiadavky na vytvárané riešenie a následne opisuje samotné riešenie, a teda navrhovanú webovú aplikáciu, ktorá má za cieľ podporiť a automatizovať procesy opísané v časti analýzy. V závere je opísaný priebeh testovania aplikácie, jej následné vyhodnotenie a odporúčania na doplnenie ďalších funkcionalít.

**Keywords** — Podnikový proces, procesné modelovanie, automobilový priemysel, meracie stredisko.

## I. MODELOVANIE PROCESOV A ICH OPTIMALIZÁCIA

Existuje viacero definícií procesu, po zhrnutí ich spoločných znakov môžeme povedať, že proces je séria logicky súvisiacich činností alebo úloh, prostredníctvom ktorých – ak sú vykonávané postupne – má byť vytvorený vopred definovaný súbor výsledkov [1], [2], [3]. Podnikový proces potom patrí do podskupiny procesov, ktoré sú implementované v podnikoch, teda podnikový proces je vykonávaný v rámci podniku, plní definované ciele tohto podniku a koncovému zákazníkovi prináša hodnotu. Vo všeobecnosti môžeme povedať, že proces (aj s prívlastkom podnikový) je teda sled činností, ktoré premieňajú vstupy na požadované výstupy. Z tohto vyplýva, že základom každého procesu je činnosť alebo úloha a daný proces vzniká reťazením týchto činností a úloh. Každá z týchto činností má svoje trvanie, logické súvislosti s ostatnými činnosťami a má priradené zdroje, ktoré spotrebovávajú. Požiadavky zákazníkov na výsledné produkty alebo služby, ktoré podniky vytvárajú, sa s postupom času menia a zvyšujú. Aby bola organizácia schopná plniť tieto požiadavky a dostatočne uspokojiť svojich zákazníkov, je potrebné všetky podnikové procesy neustále sledovať, merať a tým aj zlepšovať. Riadenie procesov je teda „činnosť, ktorá využíva znalosti, schopnosti, metódy, nástroje a systémy k tomu, aby identifikovala, popisovala, merala, riadila, hodnotila a zlepšovala procesy so zámerom efektívneho pokrytia potrieb zákazníka procesu [1]. Riadenie a zlepšovanie procesov tým pádom spolu úzko súvisia. Zlepšovanie procesov pomocou ich riadenia je nevyhnutnou súčasťou podniku, aby bol schopný udržať sa na trhu. Jednou z foriem zlepšovania podnikových procesov je ich priebežné zlepšovanie. Ide o porozumenie a meranie procesov, z ktorých potom prichádzajú podnety na ich zlepšenie [2]. Základom tohto zlepšovania je popis súčasného stavu procesu a teda jeho pochopenie. Ak je daný proces dostatočne popísaný a pochopený, je potrebné stanoviť sledované metriky, pomocou ktorých bude proces meraný. Následne sa daný proces sleduje a jeho priebeh je pomocou stanovených metrik meraný. Nakoniec, na základe výsledkov merania, je navrhnuté a implementované zlepšenie daného procesu. Celý tento sled činností sa po zavedení zmeny opakuje a zlepšený proces sa opäť zmeria pomocou tých istých metrik, aby bolo možné následné vyhodnotenie úspešnosti zmeny – či bola alebo nebola úspešná a na koľko daný proces zlepšila. Jedným z najznámejších modelov, ktoré sa používajú pre priebežné zlepšovanie procesov, je tzv. Demingov cyklus, známy aj ako PDCA cyklus (z angl. Plan, Do, Check, Act – Plánuj, Realizuj, Kontroluj, Reaguj) [4].

## II. CIEĽ A MOTIVÁCIA PRÁCE

Cieľom práce prezentovanej v tomto článku je návrh, vytvorenie a implementácia aplikácie pre podporu procesov v prostredí meracieho strediska v automobilovom priemysle. Pred samotným návrhom aplikácie je potrebné analyzovať súčasný stav na meracom stredisku. V tejto fáze analýzy je potrebné vybrať príslušné procesy, ktoré má aplikácia za cieľ podporiť a automatizovať, následne ich dôkladne analyzovať a namodelovať. Výsledkom tejto analýzy budú modely jednotlivých procesov v súčasnom, aj navrhovanom stave a vhodne stanovené kľúčové ukazovatele výkonnosti (KPI), na základe ktorých bude výsledky práce možné objektívne vyhodnotiť. Pre správnu analýzu procesov a ich modelovanie je potrebné podať prehľad oblastí procesného riadenia v podnikoch, modelovania procesov, súvisiacich technológií a zároveň aj stručné informácie o súčasnom stave automobilového priemyslu. Na základe získaných informácií bude následne pomocou vhodných technológií navrhnutá, vytvorená a implementovaná webová aplikácia. Aplikácia by mala vytvoriť efektívnejší, transparentnejší a adaptabilný systém pre podporu a kontrolu procesov v prostredí meracieho strediska. Po implementácii aplikácie je potrebné pomocou vhodného testovania overiť jej funkčnosť, získané výsledky porovnať s očakávanými a vyhodnotiť jej prínos na základe stanovených KPI.

## III. MODELOVANIE PROCESOV V PROSTREDÍ MERACIEHO STREDISKA

V prostredí meracieho strediska uvažujeme 2 procesy. Proces transportu meraných dielov a proces tvorby týždenných plánov. Oba budú podporené webovou aplikáciou. Oba z procesov boli namodelované použitím BPMN notácie [5], [6], vzhľadom na zložitosť diagramov sú popísané iba slovné.

### A. Proces transportu meraných dielov

Proces začína keď pracovníci meracieho strediska majú k dispozícii plán meraní na daný týždeň. Základným krokom je kontrola, či je stav na meracom stredisku v súlade s daným plánom. Ak nie, je odoslané upozornenie pracovníkom výroby o zmene plánu. Následne výroba pripraví potrebné diely na meranie a zabezpečí ich transport do priestoru Stage area. Tieto diely si pracovníci meracieho strediska vyzdvihnú z tohto priestoru, v systéme označia stav meraného dielu ako *Dodaný* a presunú ho na merací stroj. Výroba zatiaľ čaká na oznámenie o ukončení merania. Ak už je diel umiestnený na príslušnom meracom stroji, pracovník meracieho strediska označí stav dielu na *Meranie dielu* a začína prebiehať samotné meranie a analýza. V tomto stave je diel označený dovtedy, kým nie je meranie ukončené. Po ukončení merania je diel pracovníkom meracieho strediska presunutý do priestoru Stage area a pracovník ho v systéme označí na stav *pripravené na vyzdvihnutie*. Týmto sa odošle upozornenie pracovníkom výroby o tom, že daný diel si môžu vyzdvihnúť zo Stage area. Pracovníci výroby potvrdia v systéme odvoz daného dielu, zabezpečia jeho vyzdvihnutie a transport naspäť do výroby. Proces sa končí tým, že zmeraný diel je naspäť vo výrobe.

### B. Proces tvorby plánov meraní

Proces sa začína vykonávať raz za týždeň. Pri začatí vytvárania plánu si môže pracovník meracieho strediska vybrať, či použije už existujúcu šablónu plánu meraní alebo vytvorí novú. V prípade, že si vyberie existujúcu šablónu, musí skontrolovať, či je potrebné ju nejakým spôsobom upravovať. V prípade, že chce vytvoriť novú šablónu ale aj v prípade, kedy je potrebné upraviť existujúcu, pracovník meracieho strediska v systéme vyberie ktorúkoľvek bunku, ktorá prislúcha danému meraciemu stroju. V systéme mu vyskočí formulár, ktorý vyplní požadovanými údajmi. Takto sa to opakuje, kým nie sú vyplnené všetky potrebné údaje pre každý stroj. Ak je všetko potrebné vyplnené, pracovník odošle vytvorený plán na schválenie. V prípade neschválenia vytvoreného plánu, pracovník vykoná požadované úpravy a opäť pošle plán na schválenie. V prípade schválenia, si môže pracovník vybrať, či je potrebné vytvorený plán tlačiť alebo nie. V každom prípade je schválený plán k dispozícii v aplikácii po celý čas. Výhodou využitia webovej aplikácie pri tvorbe plánu meraní spočíva najmä v tom, že ak je potrebná spolupráca viacerých pracovníkov na tvorbe daného plánu, môžu na nej pracovať v rovnakom čase, každý zo svojho prehliadača, pričom každý v reálnom čase vidí, čo bolo zmenené jeho kolegami. Po vytvorení plánu, je možné plán jednoducho schváliť alebo upraviť, ak sú požadované nejaké úpravy a po schválení je tento plán okamžite k dispozícii všetkým pracovníkom oboch stredísk. Takto sa výrazne skráti proces tvorby, schvaľovania a distribúcie meracieho plánu.

## IV. PODPORNÁ APLIKÁCIA

Navrhovaná aplikácia podporuje existujúce procesy a zefektívni fungovanie jednotlivých workflows, ktoré prebiehajú na meracom stredisku. Tento systém umožňuje komunikáciu medzi jednotlivými strediskami v reálnom čase (výroba, logistika a meracie stredisko). Zabezpečuje



transparentnosť tejto komunikácie, pracovníci si môžu vymieňať potrebné informácie (napríklad informácie o zmenách v meracom pláne). Systém poskytne prehľadnejšie a čitateľnejšie generovanie plánov meraní na dennej, týždennej a mesačnej báze.

Základnou požiadavkou bolo, aby bola vo forme webovej aplikácie, nasadená na webový server a používateľom sprístupnená z prostredia tohto servera. Na jej používanie stačí webový prehliadač a prístup k internetovej sieti, v našom prípade konkrétne k vnútropodnikovej intranetovej sieti. Z požiadaviek vyplynula nasledovná funkcionálna:

- Definovanie plánu meraní podľa procesného štandardu: možnosť definovania plánu merania pre konkrétny merací stroj podľa druhu meraných kasní. Možnosť zadávania počtu meraných kasní na danom meracom stroji, určenie času merania od – do, možnosť pridania, odstránenia a úpravy meraní.
- Schvaľovanie a prezeranie vytvoreného plánu.
- Možnosť vykonania operatívnych zmien v už vygenerovanom a schválenom pláne: pridávanie merania, odstránenie merania a úprava merania.
- Všetky vykonané zmeny okamžite viditeľné pre všetkých pracovníkov v reálnom čase: upozornenie pracovníkov na vykonané zmeny.
- Zmena stavu meraného dielu: nedodaný, dodaný, vykonáva sa meranie, meranie ukončené, príprava na vyzdvihnutie, transport do výroby.
- Vyhľadávanie možných meraných dielov.
- Administrácia aplikácie: nastavenie oprávnení pre jednotlivých používateľov aplikácie, úprava číselníkov – číselníky modelov vozidiel, číselníky druhov meraných dielov (kasní), číselník meracích strojov.

## V. TESTOVANIE A VYHODNOTENIE

Testovanie aplikácie prebiehalo v simulovanom prostredí jedného meracieho strediska v dvoch etapách. Prvá etapa trvala približne dva týždne. Počas tejto etapy išlo najmä o odhalenie chýb, ktoré by spôsobili pád aplikácie alebo jej nesprávne fungovanie, o odhalenie chýbajúcich funkcionálností, ktoré by v reálnom prostredí meracieho strediska pracovníkom počas ich práce chýbali.

Druhá etapa testovania trvala približne jeden týždeň. Predchádzalo jej opravenie všetkých chýb a nedostatkov, ktoré boli zistené počas prvej etapy testovania. Druhá etapa bola zameraná najmä na sledovanie a odhad časov pre vopred stanovené kľúčové ukazovatele výkonnosti (KPI). Z tohto dôvodu bolo možné pracovníkom meracieho strediska odhadnúť požadované časy pre jednotlivé KPI. Pracovník meracieho strediska, ktorý bol zodpovedný za otestovanie aplikácie sledoval hodnoty uvedených KPI a vyhodnotil ich nasledovne:

- Čas potrebný na vytvorenie, schválenie a distribúciu plánu meraní: pracovník potvrdil, že s použitím aplikácie sa tento čas môže vyšplhať na jednu hodinu a 45 minút oproti pôvodným trom hodinám. Predstavuje to tak skrátenie času, ktorý je potrebný na vytvorenie, schválenie a distribúciu plánu meraní o viac ako 40%. Toto skrátenie tak potvrdzuje, že aplikácia bola v tomto smere úspešná, keďže došlo k zlepšeniu o viac ako pôvodne stanovených 30%.

- Čas, za ktorý sa naplní priestor Stage area v prípade operatívnej zmeny meracieho plánu: jeden priestor Stage area slúži trom meracím strediskám. Aplikácia bola testovaná pre použitie na jednom meracom stredisku. Testovalo sa omeškanie plnenia plánu meraní o dve hodiny. Pracovník potvrdil, že s použitím aplikácie sa priestor Stage area pri omeškaní merania o spomenuté dve hodiny naplní za približne 35 minút oproti pôvodnej jednej hodine, čiže 60 minútam. Predstavuje to tak skrátenie tohto času o približne 40%. Toto skrátenie tak potvrdzuje, že aplikáciu môžeme považovať za úspešnú aj v tomto smere, keďže došlo k zlepšeniu o viac ako pôvodne stanovených 30%. Naplnenie priestoru Stage area spôsobuje tiež fakt, že aplikácia bola testovaná pre použitie na jednom z troch meracích stredísk, a tak sa tam môžu nachádzať aj komponenty, ktoré patrili ostatným meracím strediskám, kde taktiež môže dôjsť k oneskoreniu plnenia plánu meraní. V prípade, že sa aplikácia začne používať na všetkých meracích strediskách automobilky, môže sa tak skoro úplne predísť zaplneniu priestoru Stage area.

- Čas, za ktorý sa vyprázdni priestor Stage area v prípade operatívnej zmeny meracieho plánu: testovalo sa ukončenie merania o skôr ako dve hodiny oproti plánu meraní. Pracovník potvrdil, že s použitím aplikácie sa priestor Stage area pri ukončení merania o spomenuté dve hodiny vyprázdni za približne 15 minút. Tento čas tak potvrdzuje, že aplikáciu môžeme považovať za úspešnú v tomto ukazovateli, keďže došlo k skráteniu tohto času na 15 minút oproti očakávanej pol hodine, že 30 minútam. Tento čas tak predstavuje zlepšenie o 75%.

## VI. ZÁVER

Vďaka výsledkom z prvej etapy testovania a potvrdeným časom pre jednotlivé KPI z druhej etapy testovania od povereného pracovníka meracieho strediska, môžeme povedať, že všetky chyby aplikácie, ktoré boli odhalené v prvej etape testovania, boli úspešne odstránené a opravené, čo potvrdili aj výsledky z druhej etapy, počas ktorej sa žiadne chyby ani zlyhania nevyskytli. Výsledky druhej etapy testovania podávajú jasné informácie o tom, že aplikácia prekonala vopred stanovené očakávané výsledky a môžeme ju z pohľadu kľúčových ukazovateľov výkonnosti ale aj z pohľadu splnenia vopred stanovených používateľských požiadaviek považovať za úspešnú a vhodnú pre nasadenie na všetky meracie strediská v danej automobilke. Jej nasadenie na všetky tieto strediská značne ovplyvní napĺňanie a vyprázdňovanie priestoru Stage area a rovnako tak zabezpečí efektívnosť pri tvorbe plánov meraní, transparentnosť priebehu merania počas týždňa a vďaka použitým technológiám aj požadovanú adaptabilitu systému v prípade vzniku nových požiadaviek na aplikáciu. Celkovo potom môžeme zhodnotiť, že modelovanie procesov v prostredí meracieho strediska spolu s podpornou aplikáciou predstavuje vhodné riešenie pre odstránenie nedostatkov nesystematického riadenia meracieho centra a vhodným spôsobom implementuje myšlienky procesného riadenia do tohoto prostredia.

## POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt "Centrum informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy" (kód ITMS:26220120020), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## REFERENCES

- [1] M. Matzopoulos, "Dynamic Process Modeling: Combining Models and Experimental Data to Solve Industrial Problems," in *Process Systems Engineering*, Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2011, pp. 1–33.
- [2] M. Indulska, J. Recker, M. Rosemann, and P. Green, "Business Process Modeling: Current Issues and Future Challenges," in *Proceedings of the 21st International Conference on Advanced Information Systems Engineering*, Springer-Verlag, 2009, pp. 501–514.
- [3] J. Recker, M. Rosemann, M. Indulska, and P. Green, "Business Process Modeling- A Comparative Analysis," *J. Assoc. Inf. Syst.*, vol. 10, no. 4, 2009.
- [4] M. Soković, D. Pavletić, and K. Kern-Pipan, "Quality improvement methodologies - PDCA cycle, RADAR matrix, DMAIC and DFSS," *J. Achiev. Mater. Manuf. Eng.*, vol. 43, no. 1, pp. 476–483, 2010.
- [5] S. A. White, "Introduction to BPMN," 2004.
- [6] "BPMN Examples, Patterns and Best Practises | camunda BPM." [Online]. Available: <https://camunda.org/bpmn/examples/>. [Accessed: 16-May-2017].

# Porovnanie knižníc strojového učenia pre platformy analýzy veľkých dát

Martin SARNOVSKÝ, Pavol HALÁS

Department of Cybernetics and Artificial Intelligence, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>martin.sarnovsky@tuke.sk, <sup>2</sup>pavol.halas@student.tuke.sk

**Abstract** — Hlavným cieľom práce popísanej v článku bolo porovnávanie knižníc strojového učenia na platformách veľkých dát. Na začiatku vysvetľujeme pojmy, procesy a spôsoby spracovania v oblasti veľkých dát, prúdových dát a predstavujeme prehľad súčasného stavu v oblasti veľkých dát. V ďalšej časti sa venujeme prehľadu nástrojov pre strojové učenie v distribuovanom a klastromov prostredí. Práca pokračuje opisom vývojového prostredia, klastra, použitých algoritmov a knižníc použitých pri testovaní. Najdôležitejšiu časť práce tvoria experimenty zamerané na testovanie výkonnosti a škálovateľnosti rôznych knižníc strojového učenia na platformách pre spracovanie veľkých dát. Tieto experimenty sú potom vyhodnotené z hľadiska niekoľkých kritérií, vrátane časovej náročnosti jednotlivých úloh.

**Keywords** — Hadoop, Big Data, objavovanie znalostí, klasifikácia.

## I. ÚVOD

Veľké dáta sú termínom, ktorý odkazuje na datasety alebo skupinu datasetov, ktorých veľkosť, zložitosť a rýchlosť rastu je náročné zachytiť, riadiť, spracovať alebo analyzovať bežnými technológiami a nástrojmi. Definícia veľkých dát je subjektívna a časom sa neustále mení. Nie je pevne definovaná veľkosť dát, ktoré dáta sa môžu považovať za veľké dáta [1]. V súčasnosti veľké dáta zasahujú do každej oblasti globálnej ekonomiky, v mnohých odvetviach sa ich veľkosť pohybuje od niekoľkých desiatok terabajtov až po niekoľko petabajtov (1 petabajt = 1015 bajtov). Mnohí odborníci sa zhodujú v tom, že veľké dáta dokážu priniesť významnú hodnotu pre svetovú ekonomiku, zvýšenie produktivity, konkurencieschopnosť podnikov a verejný sektor. V dnešnej dobe sú prostriedky na ukladanie a spracovanie veľkých dát omnoho prístupnejšie ako v minulosti. Jedným z prvých a najpoužívanejších modelov v oblasti veľkých dát je model 3V. Jeho autorom je Doug Laney, ktorý definoval veľké dáta pomocou troch aspektov **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**:

- **Objem** (Volume) reprezentuje množstvo vytvorených a uložených dát. Na spracovanie a analýzu veľkého množstva dát je potrebné veľké množstvo prostriedkov a zdrojov na dosiahnutie výsledkov. Veľkosť dát, ktoré majú byť spracované môže byť neobmedzená, ale rýchlosť spracovania je konštantná. Na zvýšenie rýchlosti spracovania je potrebné zlepšenie infraštruktúry, čo znamená aj vyššie náklady.
- **Rýchlosť** (Velocity) označuje rýchlosť prenosu dát, napríklad rýchlosť prenosu dát na server alebo používateľské rozhranie. Tento aspekt patrí ku hlavným požiadavkám koncových používateľov, avšak mnoho spoločností nedokáže koncovým používateľom vyhovieť v týchto požiadavkách. Prenášanie dát v reálnom čase je veľmi náročné, jediným riešením je zmenšenie objemu dát a distribuované spracovanie dát, ktoré majú byť odoslané. Odosielanie a prijímanie dát v reálnom čase bude mať stále nejaké časové oneskorenie.
- **Rôznorodosť** (Variety) reprezentuje typ, formát, ale aj formu (štruktúrované alebo neštruktúrované dáta) dát, ktoré sú uložené, analyzované a použité. Hlavnou výzvou je usporiadanie všetkých dát, aby boli čitateľné pre všetkých používateľov, ktorí k nim majú prístup a aby z týchto dát dospeli ku správnym výsledkom. Mechanizmus triedenia má dve kľúčové časti: systém, ktorý prenáša dáta a systém, ktorý ich prijíma a interpretuje. Všetky posielané dáta by mali byť štandardizované, čiže by mali byť logicky usporiadané ako pole, ktoré vieme ľahko analyzovať a správne zobrazit'.

Neskôr boli pridané aj ďalšie dva aspekty ku veľkým dátam a to hodnota (value) reprezentujúca

kvalitu dát a dôveryhodnosť (veracity), ktorá vyjadrovala neistotu v dôsledku nekonzistentných, neúplných a nejasných dát.

## II. SÚČASNÝ STAV TECHNOLOGIÍ V OBLASTI VEĽKÝCH DÁT

Najväčšou zmenou vo veľkých dátach za posledný rok bolo zvýšenie toku informácií v reálnom čase a mechanizmov, ktoré dokážu zvládnuť objem a rozsah týchto dát. Hadoop, Spark a Tableau boli najčastejšie zvolené riešenia na zbieranie a analýzu veľkých dát [3]. Open source riešenia ako Kafka, Nitti a Storm boli tiež zvolené niekoľkými veľkými spoločnosťami. Python a R sú označované za vhodné programovacie jazyky na dátovú analýzu. Maloobchody, zdravotníctvo, médiá a telekomunikácie sú 4 najväčšie odvetvia, ktoré využívajú veľké dáta na riešenie problémov vo svete. Medzi ďalšie takéto odvetvia patria finančné služby, vláda a IT. V zdravotníctve a finančných službách sa využívajú veľké dáta na identifikáciu pacientov, podvodov a zneužívania služieb. Prírodné jazyky umožňujú monitorovanie a nahlasovanie sentimentu na sociálnych sieťach, ktoré pomáhajú telekomunikáciám, maloobchodným predajcom a farmaceutickým spoločnostiam pochopiť spotrebiteľské sentimenty, predpovedať trendy a výpovede.

Najčastejším dôvodom prečo niektoré spoločnosti nevyužívajú veľké dáta je nedostatok kvalifikovaných ľudí. Spoločnosti častokrát podceňujú náročnosť implementácie plne funkčného systému veľkých dát. Okrem dátových analytikov sú potrební aj iní odborníci, ktorí pomáhajú pri príprave, integrácii a uvedení dát do prevádzky [3]. Budúcnosťou veľkých dát sú rozhodovacie systémy so strojovým učením a prirodzenými jazykmi. Bude sa zhromažďovať viac dát a pomocou automatických procesov získame užitočné prehľady o dátach. Analýza veľkých dát bude integrovaná ku každodenným činnostiam. Najväčšími obavami pri šírení dát a nástrojov sú bezpečnosť a ochrana. Na vyriešenie každému problému existuje samostatný nástroj. Pred rokom bol v oblasti veľkých dát favoritom MapReduce, dnes je to Spark. Spoločnosti preto nevedia do akej technológie majú investovať svoje peniaze a čas. Google, Apple a telekomunikačné spoločnosti zhromažďujú dáta od každého, bohužiaľ nie je známe čo s týmito dátami robia ďalej. Spoločnosti zbierajú viac dát ako sú schopní ochrániť. Vývojári, ktorí pracujú na projektoch založených na veľkých dátach by mali v budúcnosti zdokonaľiť svoje jazykové a obchodné zručnosti. Najodporúčanejšie programovacie jazyky sú Java a Python, znalosť Apach Spark je taktiež vysoko cenená. Medzi najčastejšie požadované zručnosti patrí: 1. porozumenie biznisu a problému podniku, 2. spolupráca, 3. znalosť strojového učenia a prirodzených jazykov.

Strojové učenie patrí v súčasnosti medzi najväčšie trendy v oblasti výpočtovej techniky. V najbližších rokoch bude strojové učenie veľkou konkurenčnou výhodou v podnikaní. Niektoré nástroje sú plnohodnotné služby na cloude pre veľké spoločnosti, iné zas rozšírenia pre existujúce nástroje ako Spark a Python. Majú však jednu spoločnú vec a to je obrovská podpora a voľne dostupná pomoc na internete. Nasledujúci zoznam obsahuje najčastejšie používané nástroje pre strojové učenie v súčasnosti [4, 7].

- **Amazon Machine Learning** - je súčasťou balíka Amazon Web Services. Je to samostatné vývojové prostredie strojového učenia určené pre tých, ktorí sa chcú venovať tejto oblasti, ale nemajú záujem využívať Python alebo iné programovacie jazyky. Toto prostredie využíva sprievodcov a vizualizačné nástroje na operácie strojového učenia na dátach uložených na Amazon Web Services. Obmedzením je uloženie dát na Amazon Web Services.
- **TensorFlow** - Google vyvinul TensorFlow na budovanie strojového učenia na ich vlastné systémy, ale v súčasnosti je tento rámec je open source. TensorFlow má nahradiť staršie technológie v spoločnosti Google na účely vývoja umelej inteligencie pre ich hlavné služby ako je vyhľadávanie, Gmail a systémy na rozpoznávanie reči. V súčasnosti je prístupný cez rozhranie Pythonu alebo C++, takže znalosť programovania je nevyhnutná pre prácu s týmto rámcom. Existuje mnoho zdrojov na internete, ktoré pomáhajú zvládnuť základy tohto nástroja.
- **Azure Machine Learning Studio** - Microsoft sprístupnil niekoľko open source knižníc pre strojové učenie ako je napríklad Distributed Machine Learning Toolkit (DMTK) ale Azure Machine Learning Studio je rámec služieb, ktorý ponúka spoločnostiam riešenia založené na strojovom učení na Azure cloude. Ponúkajú bezplatnú verziu s 10 GB kapacitou a plným prístupom ich algoritmov na 8 hodín.
- **H2O** - open source platforma s plnohodnotným balíkom riešení, ktoré ponúka webové používateľské rozhranie s prístupom knižnice strojového učenia pre úlohy a algoritmy strojového učenia, ktoré je navrhnuté tak, aby zjednodušilo začiatky so strojovým učením. Podporuje prácu s Excelom, R Studiom, Tableau a dokáže

načítavať dáta zo systémou Hadoop, Amazon S3 ako aj databázy SQL a noSQL.

- **Caffe** – jedna z pôvodných knižníc deep learningu, ktorá je prístupná ako open source. Nakoľko je to knižnica vyžaduje si znalosť programovacieho jazyka (C++, Python alebo Matlab), táto knižnica obsahuje modely pre neurónové siete. Tento rámec dokáže spracovať viac ako 60 miliónov obrázkov za jeden deň.
- **MLlib** - knižnica strojového učenia pre Apache Spark, takže je to ideálna knižnica pre ľudí, ktorí majú skúsenosti s Apache Spark. V súčasnosti je Apache Spark jedným z najpoužívanejších a najviac podporovaných open source systémom, ktorého algoritmy sa neustále vyvíjajú. Môžeme tu nájsť modely pre klasifikáciu, zhukovanie, regresiu a rozhodovacie stromy.
- **Torch** - široko používaný open source rámec strojového učenia, ktorý bol použitý pri vývoji mnohých technológií umelej inteligencie, ktoré používajú spoločnosti ako Facebook a Twitter. Umožňuje spustiť komplexné algoritmy neurónových sietí cez GPU bez nutnosti programovania na hardvérovej úrovni. Aplikácie Torch sú napísané pomocou programovacieho jazyka LUA.
- **Mahout** – open source softvér, ktorý ponúka implementácie distribuovaných alebo inak škálovateľných algoritmov strojového učenia zameraných predovšetkým na kolaboratívne filtrovanie, zhukovanie a klasifikáciu [5]. Väčšina týchto implementácií využíva platformu Hadoop. Mahout je doteraz vo fáze vývoja a počet implementovaných algoritmov neustále narastá.

### III. POROVNANIE KNIŽNÍC STROJOVÉHO UČENIA NA PLATFORMÁCH HADOOP A SPARK

Hlavným cieľom tejto práce je porovnanie knižníc strojového učenia na platformách Hadoop [7] a Spark. Cieľom bolo porovnať algoritmy strojového učenia (pre tvorbu klasifikačných modelov), ktoré sa nachádzajú vo troch knižniciach - MLlib, Mahout a H2O. Všetky aplikácie týchto knižníc sme vyvíjali a vytvárali v testovacom klastrovom prostredí Cloudera 5.8.0. Po úspešnej implementácii jednoduchých aplikácií pre tvorbu klasifikačných modelov sme ich nasadili a testovali na klastri s 3-5 uzlami (1 uzol v úlohe master a ostatné v úlohe workerov), ktoré disponovali 10 jadrami a 36 GB RAM.

Dataset s ktorým sme pracovali v tejto práci obsahuje údaje a spätnú väzbu pre zobrazenie miliónov reklám na portáli Criteo. Vybrali sme ho na základe jeho štruktúry a odporúčaní na internete. Jeho plná verzia je voľne dostupná na portáli Kaggle. Plná verzia pozostáva z 24 súborov formátu csv, každý súbor zodpovedá dátam návštevnosti portálu Criteo z jedného dňa. Riadky sú chronologicky usporiadané a každý riadok zodpovedá zobrazeniu reklamy na tomto portáli [6]. Dataset pozostáva z 13 stĺpcov s celočíselnými hodnotami a 26 stĺpcami s kategorickými hodnotami. Stĺpce s kategorickými hodnotami boli zašifrované na 32 bitov z dôvodu anonymizácie. Prvý stĺpec obsahuje iba hodnoty 0 a 1, ktoré indikujú či používateľ klikol na danú reklamu alebo nie (hodnota 1 znamená, že používateľ klikol na danú reklamu). Na účely porovnaní sme využívali dáta z prvého dňa tohto datasetu. Dáta z prvého dňa majú veľkosť 46,3 GB a obsahujú 195 841 982 riadkov.

Pre účely porovnaní bolo potrebné najprv nájsť také algoritmy, ktoré sa vyskytujú vo všetkých troch spomínaných knižniciach. Použili sme tieto modely:

**K-means** je zaradený medzi zhukovacie algoritmy. Zhukovanie je forma nekontrolovaného učenia, ktorá sa pokúša nájsť štruktúry v dátach bez použitia označení alebo cieľových hodnôt. Po sériách pozorovaní zoskupuje dáta do skupín podľa ich podobnosti. Objekty jedného zhuku by mali byť čo najviac podobné. Na druhej strane rozdiely medzi objektmi z rôznych zhukov by mali byť čo najväčšie.

**Naivný bayesov klasifikátor** je to klasifikačný algoritmus opierajúci sa o predpoklad nezávislosti atribútov, ktorý sa nachádza v Bayesovej vete. Tento algoritmus sa využíva ako náhrada k rozhodovacím stromom pri úlohách kde je potrebná klasifikácia.

**Gradient Boosting Machine** patrí k algoritmom založených na množinách. Funguje na princípe zlepšovania aproximácií a tým získava dobré prediktívne výsledky. V tomto algoritme sa buduje viacero regresných stromov, vo väčšine prípadov sú tieto stromy budované paralelne.

**Random forest** je to účinný nástroj pre klasifikáciu a regresiu. Ak sú vložené vstupné dáta, tento algoritmus nagenereuje sériu klasifikačných (alebo regresných) stromov. Každý z týchto stromov je slabší model postavený na podmnožine riadkov a stĺpcov. Viac stromov znižuje rozpyl. V prípade klasifikácie aj regresie sa vytvorí priemerná predikcia pomocou všetkých stromov na vytvorenie konečnej predikcie.

## IV. EXPERIMENTY

Nasledujúce porovnania a experimenty boli vykonávané pomocou datasetu v 3 rôznych veľkostiach - 6,59 GB (195 841 982 riadkov), 3,3 GB (97 920 991 riadkov) a 675 MB (19 584 198 riadkov). Pomocou každej knižnice boli vytvorené aplikácie pre algoritmy K-means, Naive Bayes, GBM a Random Forest, s výnimkou knižnice Mahout kde z vyššie spomínaných algoritmov nebola vytvorená aplikácia algoritmu GBM, pretože knižnica Mahout neobsahuje potrebné funkcie a podporu pre algoritmus GBM. Aplikácie knižnice MLlib boli spúšťané na platforme Spark, aplikácie knižnice Mahout na platforme Hadoop a aplikácie knižnice H2O na platforme Spark pomocou komponentu Pysparkling (H2O + sparkling-water). Celkové časové náročnosti tvorby jednotlivých modelov a ich vzájomné porovnanie na klastroch s 3 resp. 5 uzlami sú znázornené v Tab.1 a Tab.2. Pridaním troch ďalších uzlov sa znížila aj rýchlosť čítania a odosielania dát. Keď klaster pozostával z troch uzlov, tak v priemere rýchlosť čítania dát sa pohybovala rýchlosť okolo 140 MB za sekundu pri najťažších modeloch s najväčším datasetom. Maximálna rýchlosť zápisu dát bola vyše 100 MB za sekundu, v priemere okolo 75 MB za sekundu. Vykonalo sa aj rebalansovanie dát v distribuovanom súborovom systéme. Ako môžeme vidieť v tabuľke nižšie priemerná rýchlosť čítania dát a zápisu dát sa po pridaní troch nových uzlov výrazne znížila efektivitu budovania modelov v niektorých prípadoch (najmä použitím knižnice H2O).

Tab. 1 Porovnanie modelov na klastri s 3 uzlami

	6,59 GB	3,3 GB	675 MB
MLlib K-means	1 hod : 27 min	53 min : 10 sek	20 min : 56 sek
MLlib Bayes	2 min : 12 sek	1 min : 31 sek	49 sek
MLlib GBM	2 hod : 35 min	30 min : 2 sek	6 min : 14 sek
MLlib Random Forest	26 min : 07 sek	9 min : 35 sek	2 min : 9 sek
Mahout K-means	8 hod : 55 min	23 min : 37 sek	1 min : 14 sek
Mahout Bayes	3 hod	1 hod : 29 min	18 min : 48 sek
Mahout Random Forest	N/A	N/A	3 hod : 26 min
H2O Kmeans	15 min : 8 sek	7 min : 28 sek	50 sek
H2O Bayes	2 min : 34 sek	1 min : 43 sek	18 sek
H2O GBM	6 min : 13 sek	2 min : 55 sek	43 sek
H2O Random Forest	27 min : 11 sek	11 min : 34 sek	3 min : 54 sek

Tab. 2 Porovnanie modelov na klastri s 5 uzlami

	6,59 GB (195 841 982 riadkov)
MLlib K-means	24 min : 47 sek
MLlib Bayes	1 min : 37 sek
MLlib GBM	57 min : 21 sek
MLlib Random Forest	7 min : 06 sek
Mahout K-means	1 hod : 13 min : 7 sek
Mahout Bayes	8 hod : 47 min : 25 sek
Mahout Random Forest	N/A
H2O Kmeans	34 min : 10 sek
H2O Bayes	41 min : 3 sek
H2O GBM	36 min : 13 sek
H2O Random Forest	1 hod : 40 min : 33 sek

## V. ZÁVER

Cieľom práce bolo realizovať experiment zamerané na porovnanie časovej náročnosti pre vytvorenie vybraných modelov knižníc strojového učenia pomocou datasetov veľkosti 6.59 GB, 3.3 GB a 675 MB na klastri s 3-5 uzlami. Na záver môžeme zhodnotiť, že na základe vykonaných meraní a experimentov skutočne Apache Spark poskytuje výkon, ktorý mnohonásobne prevyšuje jeho predchodcu - platformu Hadoop. Ako najlepšia knižnica strojového učenia pre spracovanie veľkých dát sa javí knižnica H2O. Knižnica MLlib dosahovala taktiež veľmi dobré výsledky a je vhodným riešením pre spracovanie veľkých dát. Zmenou nastavení, zvýšením výkonu alebo voľbou datasetu. Najhoršie výsledky dosahovala knižnica Mahout, ktorá pracovala na platforme

Hadoop.

#### POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt "Centrum informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy" (kód ITMS:26220120020), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

#### REFERENCES

- [1] Dietrich, David et al.: Data Science and Big Data Analytics: Discovering, Analyzing, Visualizing and Presenting Data. 2015, s. 28-29 ISBN 978- 1-118-87613-8.
- [2] TOLE, Alexander Adrian. Big Data Challenges. [Online]. March 2013. [cit. 12.2.2017]. Dostupné na internete: <[http://www.dbjournal.ro/archive/13/13\\_4.pdf](http://www.dbjournal.ro/archive/13/13_4.pdf)>
- [3] Smith, Tom. Executive Insights on the State of Big Data. [Online]. April 2017. Dostupné na internete: <<https://dzone.com/articles/executive-insights-on-the-state-of-big-data>>
- [4] Marr, Bernard: The Best Machine Learning Tools? Here Are 7 Everyone Should Look At. [Online]. February 2017. Dostupné na internete: <<http://data-informed.com/the-best-machine-learning-tools-here-are-7-everyone-should-look-at>>
- [5] Apache Mahout. [Online]. Dostupné na internete:<[https://en.wikipedia.org/wiki/Apache\\_Mahout](https://en.wikipedia.org/wiki/Apache_Mahout)>
- [6] Terabyte Criteo Click Logs. [Online]. [cit. 9.5.2017]. Dostupné na internete: <<http://criteolabs.wpengine.com/wp-content/uploads/2015/02/readme1.txt>>
- [7] Mohanty, Debajani. Choosing Machine Learning Frameworks: Apache Mahout vs. Spark ML vs. Killer H2O, July 2016
- [8] Better Machine Learning, End-to-End. [Online]. Dostupné na internete: <<https://www.h2o.ai/h2o/machine-learning/>>
- [9] Kawa, Adam – Krewski Piotr: Getting Started with Apache Hadoop. 2014, s. 3-5 ISBN 978-1-936502-77-6

# Dolovanie v dátach v úlohe predikcie správania sa používateľov služby AirBnB

*Martin SARNOVSKÝ, Tomáš PORVAZNÍK*

Department of Cybernetics and Artificial Intelligence, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>martin.sarnovsky@tuke.sk, <sup>2</sup>tomas.porvaznik@student.tuke.sk

**Abstract** — Článok je zameraný na oblasť získavania znalostí z databáz pomocou metód dolovania v dátach. Pre konkrétnu úlohu je v práci využitá metodika CRISP-DM. V teoretickej časti sa práca zameriava na objavovanie znalostí v databázach, metodiku CRISP-DM a strojové učenie a jeho balíky v programovacom jazyku R. V praktickej časti rozoberá prediktívne dolovanie v dátach pomocou metódy rozhodovacích stromov. Úlohou práce je navrhnuť a následne implementovať aplikáciu v RShiny, pre analýzu dát o zákazníkoch spoločnosti Airbnb. Požiadavkou spoločnosti je funkčný program, ktorý bude vedieť predpovedať krajinu, kde si nový používateľ rezervuje ubytovanie. Vo fáze návrhu je najprv definovaný presný cieľ úlohy, následne sú pochopené dáta poskytnuté spoločnosťou Airbnb. Dané dáta sú predspracované a nasleduje modelovanie a nasadenie modelu do praxe. Pre túto úlohu bol zvolený programovací jazyk R v rozhraní RStudio. Nakoniec je vytvorená samotná aplikácia s implementovaným prediktívnym modelom a ďalšou funkcionalitou.

**Keywords** — objavovanie znalostí, klasifikácia, strojové učenie, predikcia.

## I. ÚVOD

Objavovanie znalostí je proces extrakcie znalostí z databáz, ktoré by mali byť platné, doteraz neznáme a mali by byť prínosom. Viackrokový proces objavovania znalostí nikdy nie je plne automatizovaný a to z dôvodu, že len človek môže rozhodnúť, aké znalosti majú užitočnú hodnotu z hľadiska aplikácie týchto znalostí. Celý tento proces je iteratívny, čo znamená, že v jednotlivých krokoch môže dochádzať k iteráciám za účelom zlepšenia výsledku [1, 6]. Prvým krokom je určiť si konkrétne, čo je cieľom úlohy. Tento krok nám má dať odpovede na otázky čo, pre koho, a ako to chceme týmto procesom dosiahnuť. Nasleduje získanie relevantných dát. Ideálne od dôveryhodného zdroja, aby tieto dáta boli pravdivé a zodpovedali skutočnosti. Keď už máme potrebné dáta k dispozícii musíme im aj porozumieť. Prejsť dátami, zistiť významy jednotlivých atribútov, či pochopiť názvy tried v atribútoch. Pre správne uskutočnenie extrakcie znalostí sa nemôže v dátach nachádzať nič, čomu by sme nerozumeli [2]. Takto pochopené dáta je potrebné predspracovať pre ďalšie kroky dolovania. Predspracovanie pozostáva z troch činností. Prvou je integrácia dát. Ak máme dáta získané z viacerých rôznych zdrojov, je potrebné ich presunúť a integrovať. To môže zahŕňať získanie jednotlivých súborov, zmenu formátov súborov a načítanie do prostredia programovacieho jazyka. Ďalším krokom je čistenie dát, teda doplnenie chýbajúcich hodnôt a vymazanie nekonzistentných, či zašumených dát. Nakoniec je potrebné dáta transformovať vzhľadom na cieľ úlohy, ale aj algoritmus, ktorým chceme ďalej postupovať [3]. Tento proces úzko ovplyvňuje voľba algoritmu. Niektoré algoritmy lepšie pracujú len s určitým typom údajov. Vhodným príkladom je normalizácia, ktorá sa využíva pri vytváraní neuronových sietí, no aj v metódach K najbližších susedov, či algoritmoch zhľukovania. Jedná sa o metódu, kde sú hodnoty atribútu preškálované na vopred určený rozsah. Zväčša na interval nula až jeden. To zabezpečuje rýchlejšiu fázu učenia, či všeobecne lepšie výsledky. Tretím krokom v procese objavovania znalostí je samotné dolovanie v dátach. Ide o aplikáciu algoritmov a metód pre získanie platných vzorcov. Na základe cieľa úlohy a metód, ktoré použijeme v princípe rozlišujeme dva prístupy k dolovaniu v dátach. Prvým je deskriptívny prístup a druhým prediktívny. Ako už názov napovedá, deskriptívne dolovanie využíva algoritmy, ktoré pomáhajú popisovať dáta. Medzi tieto algoritmy patria asociačné pravidlá, či zhľukovanie. Prediktívne dolovanie má za úlohu predpovedať hodnoty cieľového atribútu u ľubovoľných dát na základe



modelu, ktorý bol naučený na existujúcich, známych dátach. Znalosti získané daným procesom následne vyhodnotíme. Môžeme hodnotiť ich presnosť, spoľahlivosť, relevantnosť a taktiež ich prínos [5]. Získané znalosti, ktoré spĺňajú vopred stanovené kritéria je potrebné nakoniec vhodne interpretovať, či už v podobe aplikácie alebo v inej forme. Analýza a predspracovanie dát. Dlhé roky sa mnoho odborníkov pokúšalo proces objavovania znalostí štandardizovať. Asi najúspešnejším pokusom je práve metodológia Cross industry standard process for data minig (CRISP-DM). Ďalším známym štandardom je metodológia Sample, Explore, Modify, Model, and Assess (SEMMA), no podľa prieskumu z roku 2014 štandard CRISP-DM využíva až štvornásobne viac organizácií [7]. Nasledujúci obrázok zobrazuje výsledky spomínaného prieskumu.

## II. ANALÝZA RIEŠENEJ ÚLOHY

Americká spoločnosť Airbnb sa zameriava na rezervácie a prenájom ubytovania po celom svete. Inzerovať svoje ubytovanie, ktoré poskytuje, môže na stránkach spoločnosti ktokoľvek. Príjmom spoločnosti je istý podiel z každého predaného ubytovania. Z biznis hľadiska je hlavným cieľom spoločnosti zvýšiť príjmy, a to za pomoci zvýšenia počtu rezervácií. Tento cieľ chce spoločnosť dosiahnuť optimalizáciou webovej stránky, a tým zvýšiť šance vykonania rezervácie u každého zákazníka. Preto sa rozhodli na domovskú stránku spoločnosti umiestniť odporúčania krajín špecifických pre každého individuálneho prihláseného používateľa. Úlohou teda bolo vytvoriť predikčný model, ktorý na základe informácií o používatelovi bude predikovať cieľové destinácie, teda krajiny, do ktorých si daný používateľ s najväčšou pravdepodobnosťou zarezuje ubytovanie. Tie sa mu následne zobrazia na domovskej stránke spoločnosti hneď po prihlásení. Spoločnosť chce týmto spôsobom skrátiť čas používateľov strávený vyhľadávaním, no zároveň vnuknúť návštevníkom stránky nápady, kam by mohli chcieť cestovať. V súčasnosti na stránkach spoločnosti Airbnb nenájdeme obdobný spôsob odporúčania krajín. Na domovskej stránke spoločnosti sa po prihlásení zobrazujú len aktuálne populárne destinácie, teda destinácie, kde si za posledné obdobie rezervovalo ubytovanie najviac zákazníkov. To, že by stránka vedela, kam chcete cestovať hneď po vašom prihlásení by zvýšilo šance že si ubytovanie rezervujete práve cez spoločnosť Airbnb, a teda nie len urýchlilo proces rezervácie Vám, ale taktiež zvýšilo príjmy spoločnosti a prinieslo nových zákazníkov. Zistiť to, o akého používateľa sa jedná, nie je pre spoločnosť nič náročné, keďže pri registrácii používateľ vyplní o sebe nemalé množstvo údajov. Ak sa rozhodne prihlásiť cez sociálnu sieť, a ušetriť si tak čas, systému len uľahčí zber informácií. Nakoľko spoločnosť má o každom používatelovi v systéme dostatok informácií o samotnom používatelovi, spôsob, ako sa na stránku dostal, či cez aké zariadenie do systému pristupuje, bolo len otázkou času, kedy sa spoločnosť rozhodne tieto informácie využiť pre zlepšenie svojich podnikových procesov. Aktuálny problém je ten, že používateľ po prihlásení nevidí krajiny a miesta, o ktoré by mal záujem. Tie musí vyhľadať, čo je časovo náročné, a znižuje to šancu rezervácie cez portál. Na domovskej stránke je spôsob vyhľadávania veľmi jednoduchý. Ponúka len výber krajiny, dátumu príchodu a odchodu, a počet osôb. Až po vyhľadaní všetkých zodpovedajúcich výsledkov sa dá hľadanie upresniť v možnosti „FILTRE“, čo je nutné spraviť, ak sa používateľ nechce preklikať desiatkami strán ponúkaných miest. Ak by systém vedel, čo používateľ hľadá hneď po prihlásení a ponúkol mu tieto možnosti, používateľ by mohol ušetriť čas využiť inak, napríklad rezervovať si nejaký výlet z ponuky zážitkov na stránke spoločnosti. Obdobné spôsoby využívania informácií o zákazníkoch využívajú spoločnosti po celom internete, najmä za účelom cielej reklamy. Tento systém využívajú aj giganti ako Google, či Facebook, ktorí zbierajú informácie o používateloch a následne im zobrazujú reklamy, pri ktorých je isté alebo aspoň pravdepodobné, že používateľa zaujmú na základe jeho preferencií. Využitie takýchto informácií v prípade spoločnosti Airbnb by určite zvýšilo počty používateľov aktívne využívajúcich služby spoločnosti, a tým by sa zvýšil aj príjem spoločnosti. Pridať takto odporúčané destinácie na domovskú stránku by ale nescelo ovplyvniť už existujúce bannery na stránke, nakoľko vidieť aktuálne populárne destinácie a zážitky môže inšpirovať používateľa, aby skúsil niečo nové.

## III. PREDSPRACOVANIE

Spoločnosť pre ciele tejto úlohy poskytla mnoho dát. V mojom riešení tejto úlohy boli využité 4 súbory. Prvým z nich bol súbor *train*, ktorý poskytuje údaje o používateloch a cieľoch ich cesty. Taktiež sa v data sete nachádza súbor *test*, ktorý slúži na overenie úspešnosti modelu. Ďalším bol súbor *session*. V tejto dátovej tabuľke sú uvedené údaje o akcii, akú používateľ vykonával na stránke po prihlásení. Posledným využitým súborom bol súbor *countries*, ktorý poskytuje informácie o jednotlivých krajinách a ich súradnice. Po viacerých iteráciách a skúšaní rôznych modelov bola najefektívnejšia nasledujúca úprava dát. Ako prvý bol predspracovaný súbor *train*. V atribúte *date\_account\_create* bol zmenený dátový typ faktor na typ *date* teda dátum. Nakoľko

každý z používateľov si musel účet založiť, v tomto atribúte sa nenachádzajú prázdne hodnoty. Následne bol tento dátum rozdelený do nových atribútov deň v týždni, mesiac, a rok. Atribút *date* bolo potrebné v prvom kroku vydeliť číslom milión aby sa odstránila desatinná čiarka a ostal len reťazec čísel označujúcich dátum. V ďalšom kroku dátový typ numeric prevedieme na character aby mohol byť tento reťazec prevedený na formát dátumu. V poslednom kroku bol tento atribút taktiež rozdelený do nových atribútov na deň v týždni, mesiac, a rok. • Nakoľko v atribúte *date\_first\_booking* je chýbajúcich 74% záznamov, preto bol tento atribút pozmenený na binárny atribút, ktorý ukazuje, či existuje dátum rezervácie, alebo nie. Viacerí dátoví analytici sa zhodli, že nakoľko v každom zázname je výsledná cieľová destinácia, rezervácia musela prebehnúť, a teda v tomto atribúte sa jedná o chybu, kedy systém neuložil presný dátum. V atribúte „, teda pohlavie, bolo potrebné všetky hodnoty *other* nahradiť hodnotou *unknown*, nakoľko existujú len dve pohlavia. V tomto atribúte sa nenachádzajú prázdne hodnoty, ktoré by bolo treba nahradiť. Atribút udávajúci vek používateľa *age* bol ohraničený od veku 18 do 110 rokov, nakoľko len plnoletí používatelia môžu na stránke vykonávať rezervácie a platby. Všetky chýbajúce údaje boli pomocou predikcie doplnené. Na predikciu boli využité všetky ostatné atribúty okrem atribútu *id*, ktorý neposkytuje žiadnu pridanú hodnotu. V atribúte *language*, ktorý predstavuje nastavený jazyk stránky u používateľa, boli jazyky so zastúpením menším ako sto používateľov spojené do triedy *other*. Dôvod bol veľký nepomer a nevybalansované triedy. Rovnaký postup bol zvolený aj pri atribútoch *affiliate\_provider* a *first\_browser*. Triedy so zastúpením nižším ako sto boli spojené do jednej triedy *other*. V atribúte *first\_affiliate\_tracked* boli všetky chýbajúce hodnoty nahradené už existujúcou triedou *untracked*, teda nesledované.

#### IV. MODELOVANIE A VYHODNOTENIE

V tejto časti procesu objavovania znalostí bolo vyskúšaných viacero algoritmov strojového učenia dostupných v balíku *H2O* [4]. Nakoľko v každej prednastavenej funkcii algoritmov je možné meniť jednotlivé parametre, tento proces prešiel viacerými iteráciami na dosiahnutie optimálneho výsledku. Nakoľko sa jedná o prediktívne dolovanie v dátach, boli porovnávané hlavne dva algoritmy. Prvým je *Gradient Boosting*, ktorý s prednastavenými hodnotami dosahoval väčšiu úspešnosť ako druhý testovaný algoritmus, ktorým je *Random Forest*. Avšak po optimalizácii viacerých parametrov sa metóda rozhodovacích stromov ukázala ako presnejšia. Obr. 1 zobrazuje kontigenčnú maticu výsledného modelu.

	AU	CA	DE	ES	FR	GB	IT	NDF	NL	other	PT	US
AU	6172	7	0	13	9	0	5	33	0	21	0	31
CA	0	6127	3	7	18	18	29	51	0	33	1	64
DE	0	5	6159	8	17	8	10	48	6	42	0	31
ES	0	1	1	6122	8	8	16	74	5	42	0	76
FR	0	2	0	1	6021	6	26	56	0	58	0	79
GB	0	5	0	4	14	6096	10	78	0	59	0	60
IT	0	5	0	3	22	8	5970	87	0	51	0	82
NDF	0	4	5	7	30	7	44	5561	2	91	0	114
NL	0	8	3	2	10	4	33	60	6159	33	1	40
other	0	0	1	3	9	3	14	54	0	5697	0	47
PT	0	7	0	1	9	12	13	18	0	22	6170	16
US	0	1	0	1	5	2	2	52	0	23	0	5532

Obr. 1 Presnosť klasifikácie modelu Random Forest

Ako najpresnejší model teda skončil *Random forest*. Jeho presnosť bola overená taktiež aj na stránke Kaggle. Pomocou modelu bol predikovaný atribút cieľovej destinácie pre testovaciu množinu, ktorú spoločnosť poskytla práve pre účel overenia presnosti na stránke Kaggle, kde bola výzva zverejnená. Na stránku bol odovzdaný tabuľkový súbor, v ktorom pre každého používateľa z testovacej množiny bolo uvedených päť krajín s najvyššou pravdepodobnosťou uskutočnenia rezervácie. Na serveroch spoločnosti Kaggle po nahratí súboru automaticky prebieha vyhodnotenie. Využíva nato Normalizovaný diskontovaný kumulatívny zisk.

$$nDCG_k = \frac{DCG_k}{IDCG_k}$$

Pričom *k* je počet maximálny počet odporúčaní, teda v tomto prípade päť, a *IDCG* je najvyšší možný dosiahnutý kumulatívny zisk (*DCG*). Ten počíta algoritmus podľa vzorca:

$$DCG_k = \sum_{i=1}^k \frac{2^{rel_i} - 1}{\log_2(i + 1)}$$

Výsledkom je hodnota z intervalu od 0 po 1. Systém následne zobrazí skóre a umiestnenie vo výslednej tabuľke. Celosvetovo najlepšie riešenia dosahovali hodnotu 0,88.

#### V. ZÁVER

Pre proces objavovania znalostí v databázach bola v tejto práci pre konkrétnu úlohu využitá metodológia CRISP-DM. Predikčný model a príslušná aplikácia boli vytvorené v programovacom jazyku R v prostredí RStudio za pomoci využitia balíka H2o pre strojové učenie. Vytvorená aplikácia RShiny poskytuje otestovanie modelu, ktorý beží na pozadí simulácie náhodného používateľa, no aj pohľady na dáta a sumarizácie. Predikčný model vytvorený v pri riešení tejto úlohy je natoľko presný, že je možné jeho následné nasadenie spoločnosťou Airbnb do praxe. Takáto webová aplikácia s predikciou správania zákazníkov na stránkach spoločnosti môže zvýšiť príjmy spoločnosti za pomoci zvýšenia počtu rezervácií u existujúcich používateľov, či dokonca priniesť nových zákazníkov. Z poskytnutých dát by spoločnosť mohla získať aj ďalšie znalosti. Napríklad faktory, ktoré ovplyvňujú počty rezervácií, ako sú sviatky, či prázdniny.

#### POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt "Centrum informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy" (kód ITMS:26220120020), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

#### REFERENCES

- [1] KLÍMEK, Petr: Získávání znalostí z podnikových dat (data mining): Knowledge discovery in company data (data mining) : Diplomová práce. Zlín: Univerzita Tomáše Baťu v Zlíne, 2005. ISBN 80-7318-241-6.
- [2] ROVOST, Foster: KDD-2001: proceedings of the seventh ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. 2001. New York: Association for Computing Machinery. 2001. ISBN 1-58113-391-X.
- [3] PARALIČ, Ján: Objavovanie znalostí v databázach. Prvé vydanie. Košice: Elfa, 2003. 80 s., ISBN 80-89066-60-7.
- [4] H2o.ai: Welcome to H2O 3. [online] 2017. [cit. 2017-04-15] Dostupné na internete: <<http://docs.h2o.ai/h2o/latest-stable/h2o-docs/welcome.html#developers>>.
- [5] MARDIAK, Marek: Data mining, princípy a metódy: Bakalárska práca. Bratislava: UK FMPH, 2008. 43 s.
- [6] PETR, Pavel: Data Mining. Vyd. 2. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2008. 139 s. ISBN 978-80-7395-098-9.
- [7] PIATETSKY, Gregory : KDnuggets Methodology Poll [online]. 2014. [cit. 2017-02-24] Dostupné na internete: <<http://www.kdnuggets.com/polls/2014/analytics-data-mining-data-science-methodology.html>>.

# Modelovanie a simulácia procesov na Service Desku

*Martin SARNOVSKÝ, Peter RONČÍK*

Department of Cybernetics and Artificial Intelligence, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>[martin.sarnovsky@tuke.sk](mailto:martin.sarnovsky@tuke.sk), <sup>2</sup>[peter.roncik@student.tuke.sk](mailto:peter.roncik@student.tuke.sk)

**Abstract** — Tento článok sa venuje problematike procesov ITIL rámca, predovšetkým incident manažmentu. Práca predkladá teoretický prehľad ITIL procesov a taktiež prehľad súčasného stavu ITSM v oblasti modelovania. Informatický výstup práce predstavuje aplikácia na simuláciu procesu incident manažmentu, ktorá v sebe zahŕňa hlavné elementy konkrétneho procesu. Aplikácia je vytvorená v programovacom jazyku Java s využitím knižnice JPAZ a je reprezentovaná vo forme BPMN modelu vytvoreného na základe informácií, ktoré boli extrahované zo súboru obsahujúceho dáta z reálneho procesu incident manažmentu.

**Keywords** — ITIL, change management, incident management, BPMN, Java.

## I. ÚVOD

Riadenie IT služieb (v skratke ITSM) zahŕňa na celý rozsah činností, ktoré sú riadené pravidlami, organizované a štruktúrované do procesov a podporných procedúr, ktoré sú vykonávané organizáciou alebo súčasťou organizácie na účely plánovania, návrhu, dodávania, prevádzky a riadenie IT služieb poskytovaných zákazníkom [1]. ITSM sa teda týka implementácie IT služieb, ktoré naplňajú potreby zákazníkov a sú vykonávané poskytovateľom IT služieb prostredníctvom zodpovedajúcej skupiny ľudí, procesov a informačných technológií. Zameriava sa na konkrétne potreby zákazníkov a kladie dôraz na neustále zlepšovanie poskytovaných služieb. Jednou z hlavných úloh ITSM je poskytovať len tie špecifické služby, ktoré boli vyžiadané. Taktiež je kladený dôraz na vzájomnú komunikáciu medzi poskytovateľom IT služby a zákazníkom [2]. Služba predstavuje určitú nemateriálnu činnosť, ktorá poskytuje zákazníkovi určitú pridanú hodnotu. Služba transformuje špecifické vstupy na špecifické výstupy a poskytuje ich ako pridanú hodnotu zákazníkovi bez toho, aby musel znášať nejaké náklady alebo podstupovať určité riziká spojené s prevádzkou služby. ITIL predstavuje súbor postupov pre riadenie IT služieb, ktoré sú zamerané na efektívne zladenie IT služieb s potrebami podnikania. Jeho vznik sa datuje do konca 80. tých rokov minulého storočia. ITIL je publikovaný ako séria piatich hlavných zväzkov, z ktorých každá zahŕňa odlišnú fázu životného cyklu ITSM, pričom predstavuje zoznam najlepších overených praktík, ktoré sa používajú v praxi pre inicializáciu a na účely riadenia a IT procesov a služieb. Medzi výhody používania ITIL štandardu patria vyššia kvalita a dostupnosť IT služieb, ktoré majú za následok zvýšenie spokojnosti zo strany zákazníka, časová a finančná úspora, efektívnejšie rozhodovanie, optimalizácia rizík a rýchlejšie nasadenie nových služieb. ITIL je vlastne súbor overených a osvedčených procedúr v ITSM. Výhodou je, že napomáha k porozumeniu jednotlivých procesov a špecifikuje vzťahy medzi nimi. Medzi dôležité vlastnosti ITILu patrí aj to, že je zameraný na neustále priebežné zlepšovanie kvality jednotlivých procesov a služieb. V ITILe je každý proces istým spôsobom zalogovaný a meraný, čo má za následok lepšie možnosti priebežnej analýzy za účelom zlepšenia kvality. Za túto činnosť nesie zodpovednosť vlastník patričného procesu. Výstupy procesov musia byť striktné zamerané na potreby zákazníka, v opačnom prípade je proces bezpredmetný a nie je užitočný. Prostredníctvom ITILu je možné realizovať aj návrh vlastných procesov. ITIL obsahuje mnoho literatúry, ktorá je voľne dostupná. Na základe nej si môže každý užívateľ extrahovať potrebné informácie, ktoré využije. Princípy ITIL je možné aplikovať takmer do každého podniku, ktorého primárnym predmetom podnikania sú služby a ich poskytovanie zákazníkovi. ITIL má teda za úlohu priebežne zvyšovať kvalitu služieb, dostupnosť, výkonnosť a na druhej strane znižovať výdavky a zlepšiť využitie zdrojov, ktoré vstupujú do procesu. V súčasnosti sa používa verzia ITIL V3, ktorá je nasledovníkom ITIL V2 a prináša rad inovácií

a zmien v procesoch. ITIL V3 bola vyvinutá najmä s myšlienkou zlepšiť výkonnosť procesov na základe analýzy historických údajov, ktoré boli osvedčené a na základe toho vytvorili nový štandard. Nová verzia ITIL V3 navyše splňa rad medzinárodných noriem [3]. Jej výhoda taktiež spočíva v tom, že princípy ITIL konceptu sú aplikovateľné ako do veľkých podnikov, tak aj do menších podnikov za účelov efektívneho zlepšovania úrovne služieb.

## II. MANAŽMENT INCIDENTOV

Jedným z procesov, ktorý sa vyskytuje v oblasti ITSM, a ktorý nesie zodpovednosť za včasnosť detekcie incidentov, ich uchovávanie a spravovanie životného cyklu sa nazýva manažment incidentov [4]. Manažment incidentov sa zameriava na akékoľvek incidenty, zlyhania, nejasnosti a problémy, ktoré oznámia užívatelia, či už na technickú podporu alebo iné alebo cez automatickú detekciu pomocou nástrojov a sú následne spracované nástrojmi na monitoring udalosti. Pre ITIL je definícia incidentu nasledovná: je to akákoľvek udalosť, ktorá nezahŕňa štandardnú činnosť IT služieb a ktorá má vplyv na pozastavenie IT služby alebo zníženie výslednej kvality poskytovanej služby. Za incident možno pokladať taktiež kolaps konfiguračne položky, ktorá nezasahuje do kompetencie IT služieb. Primárnou úlohou Manažmentu incidentov je hľadanie riešenia pre čo najrýchlejšie opätovné spojazdnenie služby. Manažment incidentov možno považovať za najdôležitejšiu časť riadenia IT, čo sa spája s vysokou mierou dopadu na biznis. ITIL kladie najväčší dôraz na obnovu normálnej služobnej prevádzky v čo najkratšom čase s čo najmenšími dôsledkami zlyhania služby pre spotrebiteľov a užívateľov. Taktiež medzi hlavné záujmy patrí zabezpečenie služieb dodávaných spotrebiteľom boli v súlade s kvalitou a SLA. Za normálne fungovanie služby sa považuje prevážka služby pod záštitou SLA [5]. Incidenty neriešiteľné cez Service desk sú z tohto miesta transferované na špecialistov zaoberajúcich sa technickou podporou. Nie všetky incidenty možno pokladať za nové, ale riešia niečo, čo sa vyskytlo už skôr a môže k tomu dôjsť opätovne. Preto sa organizácie zameriavajú na preddefinované štandardné incidenty. Vzory incidentov môžu obsahovať aj kroky, ktorých dôležitosť je najmä v spracovaní incidentov, zoznamov pracovníkov nesúcich zodpovednosť za určité činnosti, procedúry eskalácie a iné dôležité úlohy. Modely by sa mali objaviť v nástrojoch pre podporu, ktoré sa zaoberajú prácou s incidentmi, aby boli tieto nástroje schopné automaticky spracovať incidenty aj proces eskalácie. Najlepším prípadom je, ak sú všetky dôležité časti zaznamenávané, aby v prípade, že dôjde k výpadku mohol byť tento problém čo najrýchlejšie vyriešený a proces manažmentu čo najrýchlejšie zmobilizovaný. Je nevyhnutné aby incidenty boli detailne zaznamenané, najmä všetky dôležité informácie o incidente, čo napomôže k vyriešeniu incidentu. Kľúčovými informáciami pri zaznamenaní incidentu sú špecifické kódovanie, zadelenie, konkretizácia, jeho dôležitosť, či rozsah škody, ktorú tento incident spôsobil. V úvode zaznamenania je potrebné zaradiť daný problém do určitej sféry pre účely štatistiky. Toto zaradenie je kľúčovým v ohľade korektného zaradenia služby IT a častí IT infraštruktúry ktoré zastrešujú daný incident. Takýmto spôsobom je možné zobrazenie kľúčového bodu incidentu, ktorá je dôležitým prvkom pri zaradení prioritne zaradených zložiek incidentu. Pri využití viacerých prostriedkov je možné hlbšie a detailnejšie rozdelenie incidentov. Za dôležitý prvok sa pokladá taktiež správne určenie koreňa incidentu. V tomto ohľade je dôležité vziať v úvahu čas na vykonanie týchto operácií a rozsah ohrozenia procesu. Výsledný dôsledok je založený v ohľade toho, do akej miery ovplyvní vrstvy poskytovaných operácií. Rozsah incidentu má rôzne stupne nevyhnutnosti reparácie, ktorá závisí od viacerých faktorov no najmä od rozsahu poškodenia. Service desk je kľúčovou pomocou pri návrate služby do pôvodného stavu. Ak je pôvod incidentu evidentný alebo je jeho príčina zjavná, špecialista používateľa o danom probléme upovedomí alebo tento výsledok posunie opäť ďalšej špecializovanej kategórii.

## III. APLIKÁCIA PRE SIMULÁCIU PROCESU MANAŽMENTU INCIDENTOV

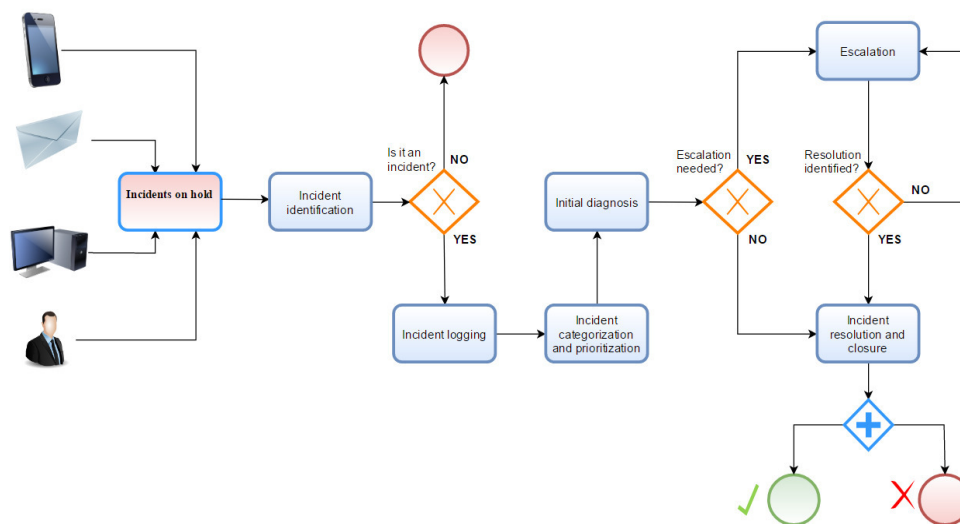
Cieľom navrhutej aplikácie je poskytnúť informácie na zlepšenie kvality služieb procesu incident manažmentu a poskytnúť kompetentným osobám asistenciu pri otázkach rozhodovania v oblasti ITSM. Aplikácia slúži na simuláciu procesu incident manažmentu. Vstupnými premennými sú počet vygenerovaných incidentov a počet pracovníkov v prostredí Incident manažmentu. Títo ľudia s danými incidentmi manipulujú a ich úlohou je dané incidenty čo najefektívnejšie a v čo najkratšom čase vyriešiť. Každý človek je schopný v reálnom čase spracovávať práve jeden incident. Incident, ktorý je príslušným človekom prevzatý prechádza radom aktivít. Na každej z týchto aktivít nastáva určité časové zdržanie, ktoré reprezentuje čas, počas ktorého človek, ktorý spracováva daný incident strávi vykonávaním danej aktivity v procese incident manažmentu. Ako vyplýva z konceptu incident manažmentu, každý incident podľa svojej priority obsahuje časový údaj, za ktorý by mal byť tento incident spracovaný. Ak daný incident tento čas prekročí, tak na základe toho došlo k porušeniu podmienok vyplývajúcich

z formálnej dohody zakotvanej v SLA. Keďže jeden incident môže vybavovať práve jeden človek, tak v istom prípade, pri určitej obmedzenej kapacite ľudských zdrojov môže dôjsť k hromadeniu incidentov, čo môže mať za následok porušenie zmluvných podmienok vyplývajúcich z SLA. V aplikácii sa snažíme tieto skutočnosti simulovať. To znamená, že aplikácia poskytuje na základe výsledkov simulácie informácie o tom, koľko incidentov nesplnilo podmienky formulované v SLA pri určitom počte ľudí a pri určitom počte generovaných incidentov. Na základe týchto informácií môže manažment prijať patričné opatrenia, aby sa takémuto porušovaniu zmluvných podmienok zamedzilo tým, že upraví počet aktuálny počet aktívnych ľudí spracovávajúcich incidenty tak, aby nastavenie pomeru počtu ľudí prislúchajúcich na určitý počet incidentov bol optimálny. Aplikácia teda predstavuje modelovú reprezentáciu reálneho procesu incident manažmentu a jeho vnútorné vlastnosti reprezentujú reálne vlastnosti z procesu incident manažmentu. Pri vytváraní modelu sme použili dáta z reálneho procesu manažmentu incidentov. Z týchto dát boli následne extrahované informácie, ktoré nám poslúžili na nastavenie odpovedajúcich parametrov nášho modelu. Zo vzorových dát sme získali nasledujúce údaje, ktoré sme neskôr implementovali do aplikácie:

- **Priorita incidentu** – získali sme informáciu, koľko incidentov z celkového počtu incidentov má akú prioritu. Túto informáciou sme využili pri generovaní stupňa priority incidentov v simulácii
- **Kategória** - z reálnych dát vyplýva, že počet položiek, ktoré sú v skutočnosti incidentom je 81.9862 %, pričom zvyšné položky predstavujú požiadavku na zmenu. Túto vlastnosť a rovnakú pravdepodobnosť sme použili aj v simulácii.
- **Počet eskalácií** – táto vlastnosť hovorí o tom, koľkokrát boli jednotlivé incidenty z datasetu eskalované. Aplikovali sme ju ako metódu, ktorá vyhodnocuje pravdepodobnosť generovania určitého počtu eskalácií pre daný incident. Na základe tohto atribútu vieme, že 59.27134 % všetkých vygenerovaných incidentov, prejde celou vetvou procesu manažmentu incidentov bez eskalácie. Maximálny počet eskalácií pre incident je 46.

#### IV. SIMULÁCIE

V tejto kapitole bude prezentovaná funkcionálna aplikácia na základe definovania scenárov pre jednotlivé simulácie. Modelová situácia definuje východiskový stav a simulácie slúžili na odhalenie problematických miest a na otestovanie riešení odhalených problémov. Musíme brať do úvahy, že výsledky simulácie sa môžu líšiť, pretože generované vlastnosti môžu ovplyvniť celkový výsledok. Obr. 1 zobrazuje grafické rozhranie aplikácie pri simulácii. Vizualizuje BPMN model simulovaného procesu a graficky vizualizuje aktivitu (alebo prechod), v ktorej sa incident momentálne nachádza.



Obr. 1 Grafické rozhranie simulačnej aplikácie

##### A. Modelová situácia s poddimenzovanou úrovňou ľudí

V tejto modelovej situácii budeme simulovať Service desk a oddelenie Manažmentu incidentov s poddimenzovanou úrovňou zamestnancov vzhľadom na počet a frekvenciu prichádzajúcich incidentov. Parametre simulácie budú nasledovné:

- 30 incidentov
- 6 zamestnancov pre manažment incidentov

- Incidents sa generujú s frekvenciou jeden incident za 3 sekundy
- Miera SLA je určená ako časová hodnota 250, za ktorú by podľa zmluvných podmienok mali prejsť incident vetvou prvého support.

Z výsledku simulácie sme zistili, že miere porušenia SLA je 26,6%, čo je pomerne vysoká hodnota a budeme sa ju snažiť zlepšiť lepšou distribúciou zamestnancov v jednotlivých úrovniach. Za účelom optimalizácie procesu sme zvýšili počet zamestnancov na 8. Miera percentuálneho vyjadrenia porušenia SLA potom predstavuje 16,66 percenta. V ďalších simuláciách sme sa síce dostali so spoľahlivosťou služby SLA nad hranicu 90-tich percent a ako spoľahlivú hodnotu počtu zamestnancov sme po opakovaných meraniach označili hodnotu 12 ľudí, ktorí sa starajú o incidenty.

### B. Simulácia poruchy

V tejto simulácii predpokladáme, že máme optimálny stav pomeru ľudí a incidentov, pričom môžeme vziať stav z predchádzajúcej simulácie s tým, že zavedieme závažnú systémovú poruchu, ktorá má za následok rapídne zvýšenie frekvencie generovania incidentov. V nasledujúcej simulácii sledujeme ako značné zvýšenie frekvencie generovaných incidentov ovplyvní kvalitu úroveň SLA. Parametre simulácie:

- Počet incidentov – 30
- Počet ľudí – 12
- SLA úroveň – 250
- Frekvencia – 1500 ms

Pri tejto simulácii si môžeme všimnúť, že so zvýšením frekvencie generovaných incidentov priamo úmerne klesla aj kvalita služby. Počet incidentov, ktoré prekročili stanovený čas prvej vetvy oproti štandardnému stavu vzrástol a jeho hodnota je v tomto prípade až 20 percent. V tomto prípade miera nedodržania dohodnutej úrovne SLA predstavuje až 20 percent. Na základe toho môžeme povedať, že porucha a následné zvýšenie frekvencie prichádzajúcich incidentov má výrazný vplyv na plnenie dohody SLA. Preto by sme v takom prípade odporúčali prijať okamžité opatrenia vo forme zvýšenia pohotovostnej kapacity ľudí v procese incident manažmentu.

## V. ZÁVER

V tomto článku sme demonštrovali využitie navrhnutého simulačnej aplikácie ako pomôcky pre rozhodovanie pri návrhu konfiguračných položiek pre proces incident manažmentu. Jeho informačný výstup nám pomohol pri rozhodovaní ohľadom vykonania potrebných akcií na to, aby sme mohli daný proces optimalizovať z hľadiska úrovne služby, ktorá je definovaná v SLA. Aplikácia všetky tieto parametre umožňuje pred simuláciou nastaviť a preto predstavuje IT riešenie ako si podstatné atribúty manažmentu incidentov nastaviť podľa aktuálneho stavu a špecifikácií a čiastočne namodelovať systém aby zodpovedal realite. Aplikáciu je možné použiť na optimalizáciu existujúcich procesov manažmentu incidentov ale taktiež aj na návrh nových procesov. Vlastnosti incidentov ako napríklad, priorita, eskalácia, zdroj generovania incidentov, alebo to či je incident zle formulovanou požiadavkou, sú generované náhodne pomocou pravdepodobnostných funkcií a teda každé spustenie simulácie je z hľadiska atribútov incidentu jedinečné. Súčasťou aplikácie je model, ktorého reálnou predlohou boli skutočne namerané vlastnosti z reálneho procesu manažmentu incidentov. Tieto dáta boli extrahované z datasetu a následne replikované do aplikácie.

## POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt "Centrum informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy" (kód ITMS:26220120020), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## REFERENCES

- [1] A. Carlidge, A. Hanna, C. Rudd, M. Ivor, and R. Stuart, *An introductory overview of ITIL V3*. 2007.
- [2] C. M. Young, "ITSM Fundamentals: How to Create an IT Service Portfolio," *Gart. Res. note*, no. March, pp. 1–6, 2011.
- [3] R. F. De Sousa Pereira and M. M. Da Silva, "A maturity model for implementing ITIL v3," in *Proceedings - 2010 6th World Congress on Services, Services-I 2010*, 2010, pp. 399–406.
- [4] D. Cannon and D. Wheeldon, *ITIL Service Operation*. 2007.
- [5] D. Cannon, *ITIL Service Transition 2011*. 2011.

# Využitie analýzy dát v oblasti podpory procesov riadenie IT

*Martin SARNOVSKÝ, Juraj SURMA*

Department of Cybernetics and Artificial Intelligence, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>martin.sarnovsky@tuke.sk, <sup>2</sup>juraj.surma@student.tuke.sk

**Abstract** — Článok je zameraný na vytvorenie interaktívnej webovej aplikácie, napomáhajúcej pri procese riešenia incidentov a implementácie zmien v rámci IT infraštruktúry, čím zvyšuje celkovú podporu IT manažmentu. Podávame v ňom základný prehľad spôsobov riadenia informačno-komunikačných technológií prostredníctvom manažmentu IT služieb a za pomoci metód objavovania znalostí z databáz. Praktická časť je primárne zameraná na vytvorenie predikčných modelov prostredníctvom algoritmov strojového učenia s využitím CRISP – DM metodiky. Po dôkladnom vyhodnotení modelov je stručne popísaný proces ich implementácie do webového rozhrania aplikácie. Aplikácia okrem implementovaných modelov disponuje funkcionalitou interaktívnej vizualizácie dát umožňujúcej sledovanie výskytu incidentov v rozličných časových intervaloch.

**Keywords** — ITSM, ITIL, prevádzka služby, konfiguračná položka, manažment incidentov, manažment zmien, CRISP-DM, objavovanie znalostí v databázach.

## I. MANAŽMENT IT SLUŽIEB

Kvôli správne pochopeniu fungovania ITSM (Information Technology Service Management) je v prvom rade potrebné zdefinovať, čo je to IT služba a čo predstavuje. IT služba je typ služby, ktorá poskytuje pridanú hodnotu pre zákazníka a v značnej miere optimalizuje, zjednodušuje alebo podporuje biznis procesy prostredníctvom informačno-komunikačných (IKT) technológií. Typickým príkladom IT služby môže byť správa dát, dodávka internetového pripojenia, prevádzka aplikácie a pod [1]. Základná definícia ITSM vraví, že úlohou ITSM je zabezpečiť dodávku kvalitných IT služieb podporujúcich podnikateľské ciele organizácie použitím nákladovo optimálnych prostriedkov [2]. V jednoduchosti povedané ITSM predstavuje spôsob riadenia IKT technológií za účelom poskytnutia IT služieb čo najefektívnejším spôsobom. Na rozdiel od klasického IT riadenia ITSM sa zameriava na poskytovanie služieb. Hlavnou prioritou ITSM je orientovanie IT služieb na biznis procesy za účelom garancie čo najlepšej novej podpory hospodárskych procesov pomocou IT organizácií. Práve zavádzanie ITSM princípov umožňuje poskytovateľom IT služieb jednoducho, efektívne a hlavne účinne riadiť a spravovať svoje procesy a poskytnúť tak svojim zákazníkom IT služby, ktoré sú menej náchylné na výpadky a tak sú z dlhodobého hľadiska značne výhodnejšie. ITIL (Information Technology Infrastructure Library) predstavuje integrovaný rámec najlepších postupov pre poskytovanie IT služieb pre koncových zákazníkov. Primárnym cieľom je maximalizovať hodnotu pre zákazníkov zosúladením IT zdrojov s biznis potrebami. ITIL obsahuje podrobný opis procesov, tokov, faktory úspechu, metriky a implementačné pokyny, ktoré organizáciám napomáhajú k efektívnejšej správe a riadeniu informačno-komunikačných technológií. ITIL neopisuje iba ako efektívne riadiť IT služby, ale poskytuje tiež dôležité informácie k neustálemu zlepšovaniu a taktiež poskytovaniu IT služieb. ITIL po jeho správnej implementácii prináša mnohé benefity ako napr. zníženie nákladov, vyššiu spoľahlivosť a kvalitu služieb, zvýšenú spokojnosť zákazníkov, kvalitnejšie a rýchlejšie spracovanie požiadaviek zákazníka, optimalizácia poskytovania služieb v celom dodávateľskom reťazci a mnoho iného.

## II. OBJAVOVANIE ZNALOSTÍ Z DATABÁZ

Proces objavovania znalostí z databáz (KDD) je podľa Fayyada [3] definovaný ako netriviálne získavanie implicitných, vopred neznámych a potenciálne užitočných informácií z dát. Tento proces v porovnaní s procesmi strojového učenia a štatistickými metódami v značnej miere kladie



dôraz na dôkladnú fázu prípravy dát, následnú analýzu a na vhodnú a zrozumiteľnú implementáciu získaných znalostí [4]. Celý proces objavovania znalostí v databázach je zhrnutý do niekoľkých základných krokov, ktoré poukazujú na čo najjednoduchší a najefektívnejší postup extrakcie znalostí z rôznych typov dát za účelom zabezpečenia pridanej hodnoty pre zákazníka. Konkrétne sa jedná o tieto kroky [5]:

- výber – prvý krok zahŕňa identifikáciu cieľov spolu s výberom najvhodnejších metód dolovania v dátach na ich dosiahnutie,
- predspracovanie – v tomto kroku sa vytvorí konečný súbor dát z ktorými sa bude pracovať v ďalších fázach. Následne dáta prechádzajú fázou predspracovania, ktorá zabezpečuje odstránenie chybných a zašumených dát,
- transformácia – v poradí tretom kroku sa zabezpečí redukcia nepotrebných dát, ktoré nekorešpondujú s cieľmi definovanými v prvej fáze a ich následná transformácia do podoby potrebnej pre algoritmy modelovania,
- dolovanie v dátach – tento krok pozostáva z výberu vhodných algoritmov pre daný typ úlohy prostredníctvom ktorých sa vykoná hľadanie určitých podobností a vzorov na vybranej množine dát,
- interpretácia/vyhodnotenie – posledným krokom je interpretácia a vyhodnotenie výsledkov v čo najzrozumiteľnejšej forme. Pri dosiahnutí neúplných, alebo nepostačujúcich výsledkov je možný spätný návrat do ktoréhokoľvek z vyššie uvedeného kroku s následnou iteráciou.

Postupom času ako sa oblasť objavovania znalosti z databáz prehlbovala a zdokonaľovala začali vznikať rôzne pokusy o jednotný štandard KDD procesu vo forme metodík s cieľom poskytnutia jednotného rámca pre úlohy z oblasti objavovania znalostí. Niektoré metodiky vytvorili softvérové spoločnosti pre ich vlastné informačné systémy, iné metodiky zase vytvorili rôzne organizácie ako softvérovo nezávislé. V súčasnosti medzi najvyužívanejšie metodiky patria 5A, SEMMA a CRISP-DM.

### III. NÁVRH A IMPLEMENTÁCIA RIEŠENIA

V tejto kapitole je popísaný návrh a implementácia riešenia prostredníctvom metód dolovania v dátach s využitím CRISP – DM metodiky. Vo všeobecnosti ide o vytvorenie predikčných modelov, ktoré dokážu klasifikovať konfiguračné položky a novovzniknuté incidenty do kategórií na základe cieľa definovaného v prvej kapitole. Následne sú takto vytvorené modely implementované do interaktívnej webovej aplikácie, ktorá napomáha pri riešení a pochopení incidentov čím celkovo podporuje IT manažment. Všetky operácie počínajúc prípravou dát až po vývoj samotnej aplikácie sú vykonávané prostredníctvom programovacieho jazyka R v jeho vývojovom prostredí RStudio.

#### A. Pochopenie problému

Manažment incidentov je proces, ktorý sa zameriava na čo najrýchlejšie obnovenie dodávky IT služby, ktorej výpadok bol spôsobený poškodenou konfiguračnou položkou asociovanou s incidentom. Tento proces býva často krát neefektívny a zdĺhavý, preto v duchu čo najrýchlejšej obnovy služby vzniká potreba zavádzania procesov, ktoré by napomáhali pri rýchlejšom a efektívnejšom riešení incidentov. Hlavným cieľom je preto na základe dostupných dát popisujúcich incidenty a dát popisujúcich zmeny konfiguračných položiek v určitej IT infraštruktúre vytvorenie dvoch predikčných modelov, ktoré proces riešenia incidentov, ako aj proces implementovania zmien v značnej miere uľahčia a urýchlia. Primárny model bude určený na predikciu, či konfiguračná položka asociovaná s incidentom skutočne stojí za vznikom daného incidentu, zatiaľ čo sekundárny model bude predikovať, či incident vyústi, alebo nevyústi k zmene konfiguračnej položky. Takto vytvorené modely budú implementované vo webovej aplikácii, ktorá na základe vstupných údajov zadaných používateľom zobrazí výslednú predikovanú hodnotu. Aplikácia taktiež bude disponovať interaktívnymi vizualizáciami dát pre jednoduchšie sledovanie vzniku incidentov v rôznych časových intervaloch za účelom zlepšenia celkovej stratégie pri riešení incidentov.

#### B. Pochopenie a príprava dát

Dáta boli poskytnuté holandskou bankovou spoločnosťou Rabobank Group ICT pre každoročnú kompetitívnu súťaž s názvom BPI Challenge 2014. Rovnako ako aj iné spoločnosti aj v spoločnosť Rabobank Group ICT zaviedla ITIL procesy s cieľom zefektívnenia a zlepšenia dodávky IT služieb. Spoločnosť Rabobank Group ICT poskytla tri datasety zachytávajúce informácie o interakciách, incidentoch a zmenách, no pre účely tejto práce nám postačia dáta

zachytávajúce incidenty a zmeny. Obe datasey obsahujú detaily o jednotlivých atribútoch zmeny alebo incident, vrátane času vzniku, asociovaných konfiguračných položkách, údaje o type služieb, na ktorých nastali, príbuzné incident/zmeny, spôsob uzavretia, čas za ktorý boli vyriešená a aj spôsob ako.

Po integrácii dát ešte zostávalo vytvoriť atribúty, ktoré budú vo fáze modelovania predikované. Pri primárnej úlohe sme vytvorili atribút s názvom *CI.Name.equality*, ktorý udáva, či potenciálna konfiguračná položka skutočne spôsobila incident alebo nie. Tento atribút sme vytvorili spôsobom, že sme porovnával hodnoty v atribútoch *CI.Name..aff* a *CI.Name..CBy* a v prípade zhody sa do atribútu *CI.Name.equality* zapísalo číslo 1 alebo 0. Rovnakým spôsobom sme postupovali aj v sekundárnej úlohe. Pri nej sme vytvorili atribút s názvom *Change.ID.equality*, do ktorého sa zapísalo číslo 1, alebo číslo 0 na základe zhody atribútov *Change.ID* a *Related.Change*. V tomto novovytvorenom atribúte číslo 1 symbolizuje incident, ktorý vyústil v zmenu a číslo 0 incident, ktorý v zmenu nevyústil.

### C. Modelovanie a Vyhodnotenie

Tento experiment je venovaný predikcii atribútu *CI.Mame.Equality*. Pri tomto experimente budeme postupne meniť parametre modelu ako rozdelenie trénovacej, testovacej a validačnej množiny, typ algoritmu, metódu balansovania a množinu balansovania. Výsledky vybraných modelov je možné vidieť v Tab. 1.

Typ algoritmu	Predikujúce atribúty	Metóda balansovania	Množina (train/valid/test)	Presnosť
<b>Random Forest</b>	CI.Name..aff., CI.Type..aff., CI.Subtype..aff., Service.Com.aff., Open.Time.Hour, Priority	Both	60/20/20	83,76%
<b>Random Forest</b>	Rovnaké	Both	70/10/20	85,52%
<b>Random Forest</b>	Rovnaké	Both	80/10/10	85,06%
<b>Random Forest</b>	Rovnaké	Both	3-násobná krížová validácia	84,94%
<b>Random Forest</b>	Rovnaké	Both	5-násobná krížová validácia	85,10%
<b>Random Forest</b>	Rovnaké	Both	10-násobná krížová validácia	85,36%
<b>GBM</b>	Rovnaké	Class weights	60/20/20	83,40%
<b>GBM</b>	Rovnaké	Class weights	70/10/20	84,81%
<b>GBM</b>	Rovnaké	Class weights	80/10/10	85,27%

Tento experiment slúži na predikciu atribútu *Change.ID.Equality*. Rovnako ako v experimente č.1 aj v tomto experimente sme menili rozdelenie trénovacej, validačnej a testovacej množiny, metódu balansovania, typ algoritmu a množinu balansovania, zatiaľ čo dodatočné parametre sme nechali na rovnakých hodnotách ako v experimente č.1.

Tab. 2. Prehľad vybraných modelov pre experiment 2

Model	Predikujúce atribúty	Balansovanie	Množina (train/valid/test)	Presnosť (AUC)
<b>Random Forest</b>	CI.Name..aff., CI.Type..aff., CI.Subtype..aff., Service.Com.aff., Open.Time.Hour, Priority	Žiadna	60/20/20	91,20%
<b>Random Forest</b>	Rovnaké	Oversampling	70/10/20	89,93%
<b>Random Forest</b>	Rovnaké	Žiadna	3x crossvalidation	90,93%
<b>Random Forest</b>	Rovnaké	Oversampling	5x crossvalidation	91,80%
<b>GBM</b>	Rovnaké	Žiadna	60/20/20	90,67%

<b>GBM</b>	Rovnaké	Oversampling	70/10/20	90,58%
<b>GBM</b>	Rovnaké	Oversampling	80/10/10	97,62%
<b>GBM</b>	Rovnaké	Oversampling	5x crossvalidation	91,64%

#### IV. ZÁVER

Hlavnou úlohu bolo vytvoriť predikčné modely prostredníctvom ktorých vieme predikovať, či konfiguračná položka asociovaná s incidentom skutočne daný incident spôsobila a či incident vyústi, alebo nevyústi k zmene konfiguračnej položky. Modely sme vytvorili pomocou CRISP – DM metodiky. Vyhodnocovali sme ich na dvoch experimentoch, kde v každom z experimentov bolo vytvorených niekoľko predikčných modelov ktoré boli následne optimalizované a verifikované. Pri verifikácii modelov sme si všimli, že balansovanie celej množiny dát a balansovanie len trénovacej množiny značne skresľuje výslednú presnosť klasifikátora naprieč všetkými metrikami. V konečnom dôsledku sme dospeli k názoru, že je preto lepšie vykonávať testovanie na nevybalansovaných dátach s cieľom vyhnúť sa skresleniu výslednej presnosti klasifikátora. Po výbere jedného najpresnejšieho modelu z oboch experimentov boli modely implementované do webového rozhrania aplikácie spolu s niekoľkými grafickými vizualizáciami dát. Takto vytvorená aplikácia môže v značnej napomôť pri zefektívnení a zrýchlení procesu riešenia incidentov.

#### POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt "Centrum informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy" (kód ITMS:26220120020), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

#### REFERENCIE

- [1] FICANO, CH. et al.: Bringing it service management and innovation to smes in central europe: Public final report of the project INNOTRAIN IT. [online]. [cit. 2017-02-05]. Dostupné na internete: < <https://www.hs-heilbronn.de/5076380/INNOTRAIN-IT-Public-Final-Report-Web.pdf>>.
- [2] SARNOVSKÝ, M. – FURDÍK, K. – ŠKOLOVÁ, E.: Riadenie IT Prostredia. [online]. [cit. 2017-02-05]. Dostupné na internete: <<http://web.tuke.sk/fei-cit/sarnovsky/RiadenieITProstredia/Riadenie%20IT%20Prostredia.html?ITILaITSMMModel.html>>.
- [3] FAYYAD, U. – PIATETSKY-SHAPIRO, G. – SMYTH, P.: From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases. [online]. In: AI Magazine. Roč. 17, č. 3 (1996), s. 37-54. [cit. 2017-02-05]. Dostupné na internete: <<https://www.aaai.org/ojs/index.php/aimagazine/article/viewFile/1230/1131>>.
- [4] BERKA, P.: Dobývání znalostí z databází. 1. vyd. Praha: Academia, 2003. 366 s. ISBN 80-200-1062-9.
- [5] HINKA, M.: Objavovanie znalostí v databázach a dolovanie údajov. [online]. Dostupné na internete: <<http://www2.fiiit.stuba.sk/~kapustik/ZS/Clanky0506/hinka/index.html>>.

# Porovnanie radiacích metód pre pohon so spínaným reluktančným motorom

<sup>1</sup>Luboš SUCHÝ, <sup>2</sup>Želmíra FERKOVÁ

<sup>1</sup> Katedra elektrotechniky a mechatroniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>lubos.suchy@tuke.sk, <sup>2</sup>zelmira.ferkova@tuke.sk

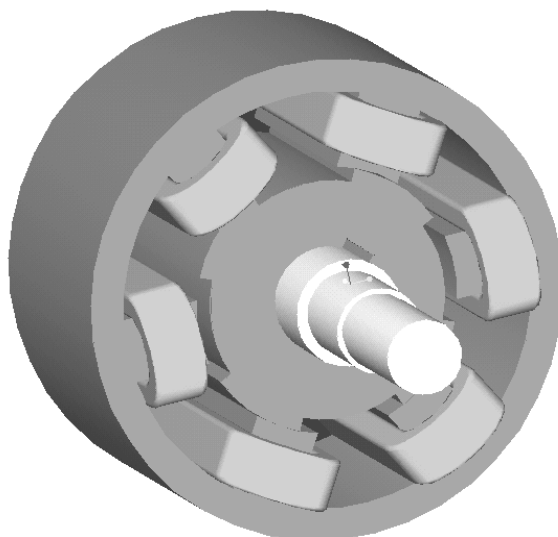
**Abstrakt** — Príspevok porovnáva dve metódy riadenia spínaného reluktančného motoru s počtom pólov  $2p_1/2p_2 = 6/4$ . Pre simulácie bol použitý softvér ANSYS, ktorý umožňuje aplikovať rôzne prístupy modelovania. Nižšie sú popísané simulované metódy – Hysterézne riadenie prúdu a metóda priameho riadenia momentu. Článok obsahuje dosiahnuté výsledky realizované pomocou ANSYS Simplorer.

**Kľúčové slová** — Spínaný reluktančný motor, hysterézne riadenie prúdu, priame riadenie momentu, ANSYS softvér

## I. ÚVOD

Popularita spínaného reluktančného motoru (SRM) jeho použitie v elektrických pohonoch stále narastá. Dôvodom je jeho jednoduchá konštrukcia bez použitia permanentných magnetov a vinutí v rotore, čo ho činí nízkonákladovou alternatívou k ostatným jednosmerným a striedavým motorom [1]. Medzi jeho ďalšie výhody patrí možnosť použitia SRM pre široký rozsah rýchlostí a schopnosť odolávať vysokým teplotám [2].

Medzi nevýhody SRM patrí, že ho nie je možné pripojiť k elektrickej sieti bez použitia výkonového polovodičového meniča a sofistikovaného riadenia vyžadujúceho poznať polohu rotora. Veľkou nevýhodou je tiež relatívne veľké zvlnenie momentu, ktoré je možné redukovať s použitím pokročilých radiacích metód alebo úpravou konštrukcie motoru [5]. Na Obr.1 je znázornený 3-fázový spínaný reluktančný motor s počtom pólov statora a rotora  $2p_1/2p_2 = 6/4$ .



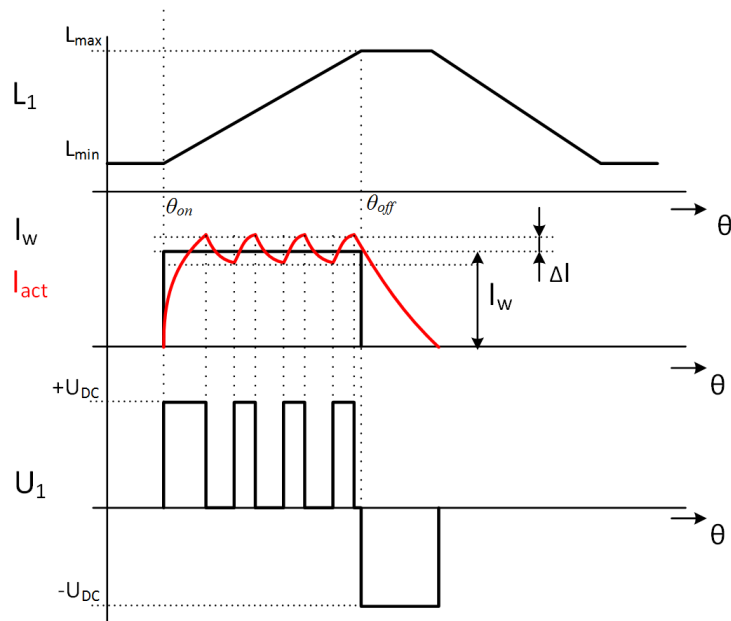
Obr. 1 3D model spínaného reluktančného motoru

## II. SIMULOVANÉ RIADIACE ALGORITMY

### A. Hysterézne riadenie prúdu

Táto metóda je založená na základnom princípe spínaného reluktančného motoru: SRM vytvára kladný moment, ak prúd preteká vinutím fázy v čase (polohe), keď indukčnosť má narastajúci charakter. Okamžitá hodnota prúdu je riadená hysteréznym regulátorom, tak aby bol

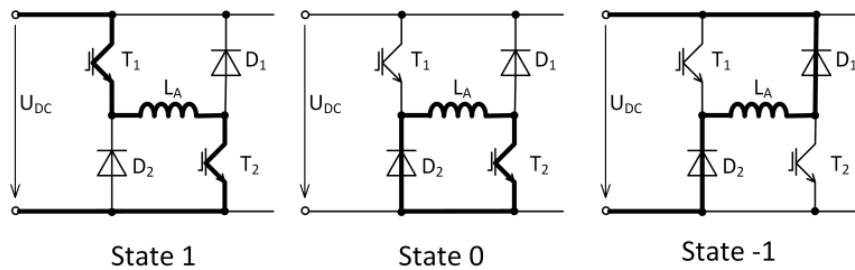
prúd udržaný v pásme  $\pm \Delta I$ . Na základe tejto podmienky je potom spínaný dvojkvadrantový menič s reverzáciou napätia, ktorým je možné docieľiť riadenie momentu vo všetkých štyroch kvadrantoch momentovej charakteristiky [2]. Základný princíp tejto metódy je zobrazený na Obr. 2.



Obr. 2 Princíp hysterézneho riadenia prúdu

**B. Priame riadenie momentu (DTC)**

Základná DTC metóda je založená na riadení momentu počas fázovej komutácie. Interval  $\langle \theta_{on1}, \theta_{on2} \rangle$  je rozdelený do troch oblastí, pričom je potrebné poznať, ktorá fáza je aktuálne spínaná a ktorá fáza je nasledujúca. Výsledný moment sa dosiahne spínaním troch rôznych stavov meniča v závislosti od aktuálnej hodnoty momentu motora. Tieto stavy dvojkvadrantového meniča s reverzáciou napätia sú zobrazené na Obr. 3. Regulačné pravidlá uvedené v TAB I. boli publikované v [3], [7], [9].



Obr. 3 Stavy meniča pre jednu fázu

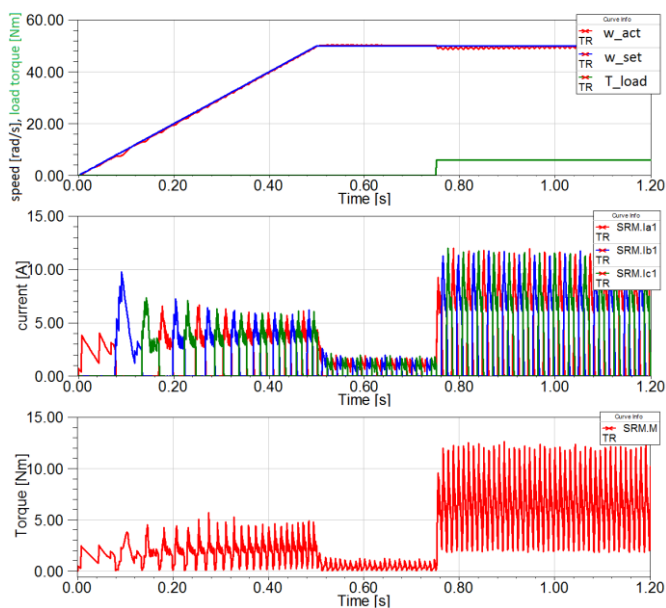
TAB. I  
 DTC Spínacie pravidlá

Region	Condition		Phase	
	$T_{err}$		Outgoing	Incoming
Region 1	>0	< $\Delta T$	0	1
		> $\Delta T$	1	1
	< - $\Delta T$	<0	0	1
		< - $\Delta T$	-1	1
Region 2	>0	< $\Delta T$	0	0
		> $\Delta T$	1	1
	< - $\Delta T$	<0	0	1
		< - $\Delta T$	-1	0
Region 3	>0	< $\Delta T$	-1	0
		> $\Delta T$	-1	1
	< - $\Delta T$	<0	-1	0
		< - $\Delta T$	-1	-1

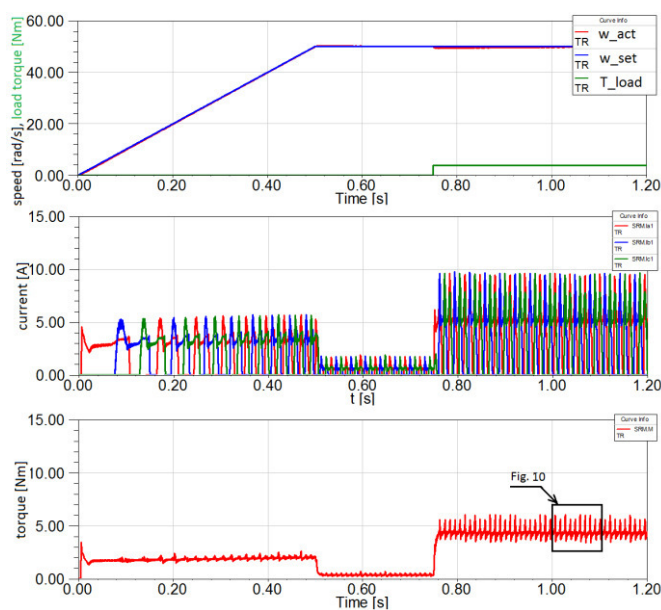
### III. SIMULAČNÉ VÝSLEDKY

Jednotlivé riadiace metódy boli odsimulované v ANSYS/Simplorer, ktorý umožňuje simulovať všetky časti elektrického pohonu – motor, výkonový menič aj reguláciu. Bola použitá kaskádna regulačná štruktúra s nadradeným PI regulátorom rýchlosti. Ako žiadaná hodnota bol privedený lineárny nárast rýchlosti (rozbehová rampa) a po rozbehu motora bol motor zaťažovaný skokovou zmenou momentu.

Na Obr. 4-5. Sú zobrazené časové priebehy uhlovej rýchlosti, fázových prúdov a momentu motora. Ako žiadaná hodnota bola aplikovaná 0,5 s rampa žiadanej rýchlosti a motor bol v čase 0,75 s zaťažovaný momentom veľkosti 6 Nm, pričom boli použité rôzne riadiace metódy. Na priebehoch momentu je možné si všimnúť vyššie zvlnenie momentu pri použití metódy hysteréneho riadenia prúdu ako u metódy DTC. Použitie DTC metódy poskytuje viac presnú reguláciu s menšou regulačnou odchýlkou.



Obr. 4 Simulačné výsledky – Hysterézne riadenie prúdu



Obr. 5 Simulačné výsledky – DTC metóda

## IV. ZÁVER

Softvér ANSYS umožňuje simulovať rôzne modelové platformy vrátane analytickým model či modelov metódy konečných prvkov. Riadiaci algoritmus motora tak môže byť odladený ešte pred vytvorením samotného fyzického pohonu. Hysterézna regulácia prúd dosahuje vyššie zvlnenie momentu, čo spôsobuje nepresnosť v regulácii rýchlosti. Preto je vhodnejšie použiť metódou priameho riadenie momentu (DTC), ktorej vlastnosti sú prijateľné hlavne pri nižších rýchlostiach.

## POĎAKOVANIE

„Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj, pre projekt: **Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií – II.fáza**, kód ITMS: **313011D232**, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.“

„Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ“



## REFERENCIE

- [1] V. Hrabovcová, L. Janoušek, P. Rafajdus, M. Ličko: Modern electric machines, Žilinská univerzita – EDIS, ISBN 80-7100-809-5, 2001
- [2] R. Krishnan: Switched reluctance motor drives: Modeling, simulation, analysis, design and applications. Boca Raton, London, New York, Washington D.C., ISBN 0-8493-0838-0, 2001
- [3] J.-W. Ahn, M.T. Lamchich: Torque Control: *Switched reluctance motor*, ISBN 978-953-307-428-3, 02/2011, Available online, February 2016 in: <<http://www.intechopen.com/books/torque-control/switched-reluctance-motor>>
- [4] Ž. Ferková, L. Zboray, F. Ďurovský: Model and control of switched reluctance motor , In: Acta Electrotechnica et Informatica. - ISSN 1335-8243. - Roč. 2, č. 2 (2002), s. 14-18
- [5] A.Y. Anekunu, S.P. Chowdhury, S. Chowdhury: *A Review of Research and Development on Switched Reluctance Motor for Electric Vehicle*, Power and Energy Society General Meeting (PES), 2013 IEEE, ISSN: 1944-9925
- [6] S. K. Sahoo *High-performance torque control of switched reluctance motor*. PhD. Thesis, National university of Singapore, 2006
- [7] J.-W. Ahn: *Torque Control Strategy for High Performance SR Drive*, Journal of Electrical Engineering & Technology, Vol. 3, No. 4, pp. 538~545, 2008
- [8] D.-H. Lee, S.-Y. Ahn, J.-W. Ahn: *Advanced Torque Control Scheme for the High Speed Switched Reluctance Motor*, Advances in Motor Torque Control, Dr. Mukhtar Ahmad(Ed.), ISBN: 978-953-307-686-7, 2011, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/advances-in-motor-torque-control/advanced-torque-control-scheme-for-the-high-speed-switched-reluctance-motor>
- [9] L. Suchý: *Electrical Drive with Switched Reluctance Motor*, 16th Scientific Conference of Young Researchers, Herľany, May 17th, Faculty of Electrical Engineering and Informatics Technical University of Košice, 2016, ISBN 978-80-553-2566-8, pp.110-113

# Nízkoenergetický statický zdroj pre elektrosystémy

<sup>1</sup>Pavol FEDOR, <sup>2</sup>Daniela PERDUKOVÁ

<sup>1,2</sup> Katedra elektrotechniky a mechatroniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>pavol.fedor@tuke.sk, <sup>2</sup>daniela.perdukova@tuke.sk

**Abstrakt** — Článok sa zaoberá návrhom a realizáciou nízkoenergetického statického zdroja pre elektrosystémy. Je tu uvedený popis požiadaviek na takýto výkonový zdroj a návrh jeho štruktúry a funkcií. Uvedená štruktúra výkonovej časti a riadiaceho systému výkonového zdroja bola verifikovaná pri konkrétnej aplikácii testovania tepelnej spúšte ističov vo firme SEZ Kropachy. Na základe analýzy jeho činnosti bude postavený univerzálny výkový zdroj pre prúdové a napäťové testy rôznych typov elektrotechnických zariadení.

**Kľúčové slová** — výkonový zdroj, istič, tepelná spúšť, riadiaci systém, tester

## I. ÚVOD

Výskum a testovanie rôznych elektrotechnických zariadení pomocou vopred definovaných prúdových a napäťových priebehov jednotlivých veličín je veľmi často úlohou ich výrobcov. Prvým dôvodom je testovanie efektívnosti (napríklad z hľadiska spoľahlivosti) výroby a druhým dôvodom je dodržiavanie technických noriem platných pre tieto výrobky. Pretože sortiment takýchto výrobkov je dnes pomerne rozsiahly a často sa mení podľa požiadaviek zákazníkov, bolo by neefektívne vyvíjať výkonové zdroje osobitne pre každý z nich. Preto sa výskum v danej oblasti zameriava na vývoj univerzálneho výkonového zdroja, pre návrh ktorého môže poslúžiť aj analýza vlastností výkonového zdroja pre testovanie ističov, ktorý je popísaný v tomto článku.

## II. POŽIADAVKY NA TESTER TEPELNEJ SPÚŠTE ISTIČOV

Hlavnou úlohou tepelnej spúšte ističa je zabezpečiť istené elektrotechnické zariadenie pred krátkodobým nadmerným tepelným preťažením elektrickým prúdom, pričom nesmie vypnúť pri dlhodobom nominálnom prúdovom zaťažení zariadenia [1]. Hodnoty časov a prúdov pre konkrétnu triedu ističov sú definované v príslušnej norme. Ďalej sú uvedené hlavné technické požiadavky, kladené na testovacie zariadenie ističov:

- |   |                                 |
|---|---------------------------------|
| • Maximálny počet testovaných ističov pri teste:  | 12                              |
| • Prevedenie ističov (počet fáz)  | 1 až 4                          |
| • Rozsah menovitých prúdov testovaných ističov ( $I_n$ )  | 0,2 až 125 A                    |
| • Hodnota nastavenia vypínacieho prúdu  | 1,3 až $1,45 I_n$               |
| • Hodnoty nastavenia pomerných testovacích prúdov   | 105%, 113%, 130%,<br>145%, 255% |
| • Požadovaný rozsah testovacích prúdov  | 0,2 až 320 A                    |
| • Požadovaná tolerancia presnosti nastavenia prúdu  | $\pm 0,5\%$                     |
| • Trvanie testu nevypínacím (približne $I_n$ ) prúdom   | max. 60 až 120 minút            |
| • Trvanie testu vypínacím prúdom  | max. 60 až 120 minút            |
| • Zálohovanie riadiaceho systému pri výpadku napájania<br>zo siete a možnosťou pokračovania testu | min. 1 minúta                   |

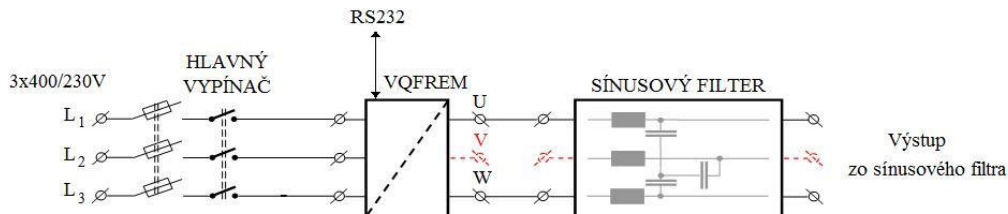
Prídavnou administratívnou požiadavkou je spracovanie protokolov o priebehu jednotlivých testov.

Vysoká variabilita uvedených požiadaviek nutne vedie na použitie inteligentného výkonového zdroja, zloženého z výkonovej časti a vhodného riadiaceho systému.



### III. VÝKONOVÁ ČASŤ TESTERA TEPELNEJ SPŮŠTE ISTIČOV

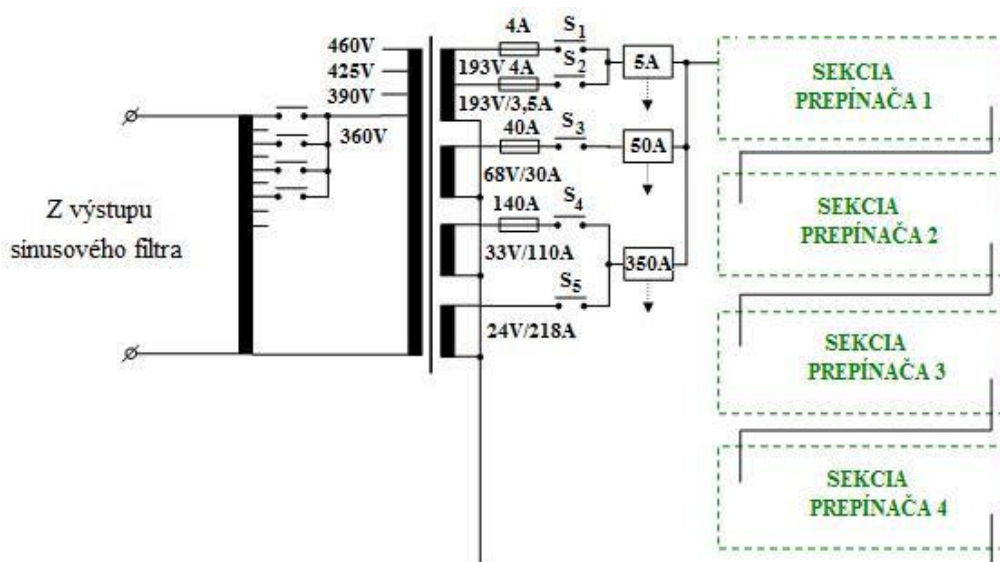
Pre výkonovú časť testera hodinových skúšok bola prijatá alternatíva riešenia s jedným meničom pre napájanie všetkých testovacích sekcií. Menič napája sekcie cez odbočkový autotransfómator a hlavný viacvinuťový transformátor. Bloková schéma napájacej výkonovej časti testera je na obr.1. Výstupné napätie je generované meničom (bližšie parametre v [2]), riadeným signálovým procesorom a schopným komunikovať s riadiacim systémom pomocou RS232 linky. Toto napätie je filtrované sínusovým filtrom. Sínusový filter zabezpečí napájanie transformátorovej sekcie testera variabilným napätím (a prúdom) s takmer ideálnym neskresleným priebehom a presne udržiavanou frekvenciou 50 Hz.



Obr. 1 Napájacia výkonová časť testera hodinových skúšok

Transformátorová sekcia uvedená na obr.2 je navrhnutá tak, aby umožnila čo najlepšie nastavenie východiskových napäťových pomerov pred zahájením testu. Vzhľadom na extrémne veľký rozsah impedancií ističov s menovitými prúdmi 0,2 až 125A, ktorý je navyše znásobený požiadavkou na vykonávanie testov 1 až 4 pólových ističov, je nutné meniť napätie na testovanej skupine ističov vo veľmi širokom rozsahu.

Využitím stupňovitej predregulácie napätia regulačným transformátorom sa dosiahne lepšie výkonové využitie hlavného transformátora aj meniča. Prispôbenie napäťových a prúdových rozsahov celému vyrábanému radu ističov sa uskutočňuje prepínaním sekundárnych sekcií hlavného transformátora. Uvedenými spôsobmi prednastavenia napäťových pomerov sa znižujú nároky na regulačný rozsah meniča, čo prispieva k presnosti regulácie nastavených testovacích prúdov.



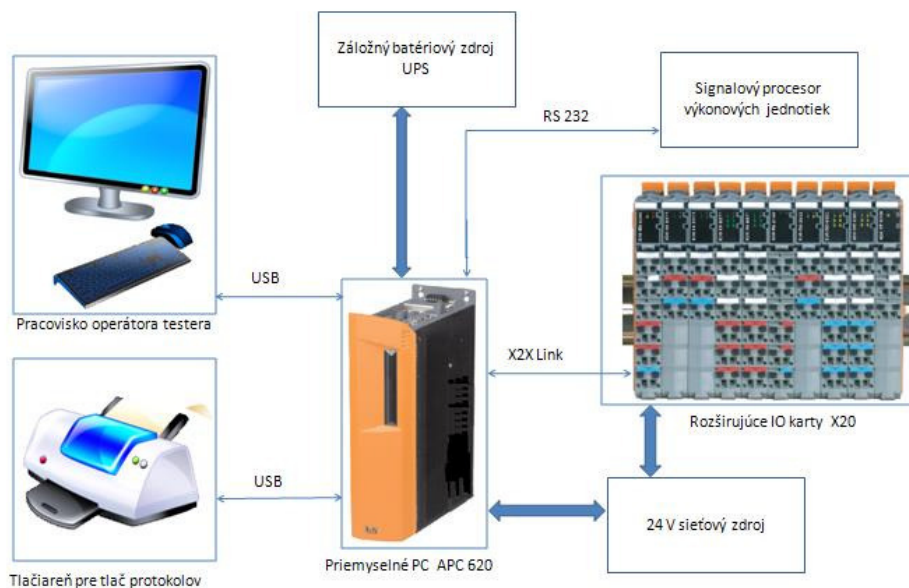
Obr. 2 Transformátorová sekcia testera hodinových skúšok

### IV. RIADIACI SYSTÉM PRE TESTER TEPELNEJ SPŮŠTE ISTIČOV

Funkciou riadiaceho systému testera ističov (ďalej len RS) je automatizovať vykonávanie testu skupiny ističov a zaevidovať výsledky testov vo zvolenej forme pre ďalšie spracovanie. Riadiaci systém zadáva príkazy a prijíma informácie od signálového procesora, ktorý riadi výkonové jednotky testera, ďalej prijíma a spracováva povely od obsluhy testera a nakoniec spracováva a archivuje, prípadne aj tlačí údaje o priebehu jednotlivých testov vo forme protokolov.

### A. TECHNICKÉ PROSTRIEDKY RIADIACEHO SYSTÉMU

Bloková schéma riadiaceho systému testera hodinových skúšok je uvedená na obr.3 (podrobnejšie parametre jednotlivých modulov sú uvedené napr. v [3]).



Obr. 3 Blokovaná schéma riadiaceho systému testera

Centrom RS je priemyselné PC firmy B&R, ktoré riadi testovanie ističov, a na ktorom sú ukladané všetky údaje z testov. Toto PC je zálohované batériovým záložným zdrojom. PC je vybavené štandardnými komunikačnými linkami USB, RS232 a Ethernet. Ďalej obsahuje špeciálnu komunikačnú kartu pre priemyselnú zbernicu X2X Link pre komunikáciu s rozširujúcimi IO kartami. Samotné PC a IO moduly sú napájané nezávislým 24 V zdrojom, ktorý súčasne slúži na priebežné dobíjanie batérie UPS. Operátor komunikuje so systémom iba pomocou štandardnej myši a LCD displeja, systém však umožňuje v prípade servisu aj pripojenie štandardnej PC klávesnice cez USB port. V prípade potreby vytlačenia protokolov je možné na PC pripojiť štandardnú tlačiareň s USB rozhraním. K dispozícii pre budúce rozširovanie systému je aj Ethernet rozhranie, ktoré je možné využiť napr. pre diaľkový prenos protokolov po lokálnej podnikovej sieti alebo cez internet.

### B. PROGRAMOVÉ PROSTRIEDKY RIADIACEHO SYSTÉMU

Priemyselné PC pracuje pod operačným systémom Windows XP a obsahuje nasledujúce programové vybavenie:

- Systémové SW prostriedky.
- Aplikačné programové vybavenie APV.

Základným systémovým programom testera je runtime program AR010, ktorý vykonáva činnosť programovateľného automatu, riadiaceho priebeh testovania a ukladania údajov na HDD. Pre vizualizáciu procesu testovania a nastavovanie parametrov testovania obsluhou slúži program VNC Viewer4 komunikujúci s AR010 cez virtuálnu ethernetovú sieť. Pretože PC pracuje pod operačným systémom Windows, pre čítanie, úpravu a spracovanie protokolov je možné použiť štandardné programy balíka Office, ako sú Word, Excel a Access.

Aplikačné programové vybavenie vykonáva činnosti [1], ktoré môžeme rozdeliť na inicializačnú časť testovania a meraciu časť testovania.

Inicializačná časť testovania zabezpečuje nasledujúce činnosti:

- Obsluha cez display otestuje funkčnosť LED
- Obsluha cez display zvolí typ skúšky (počet pólov ističa). Na displeji zobrazí návod na správne nastavenie prepínačov, prípadne na prepojenie jednotlivých pólov ističov vodičmi.
- Obsluha ručne na displeji potvrdí, že prepínače správne nastavila a založila ističe do meracích pozícií.
- Obsluha cez displej zvolí typ ističa: z toho vyplynie nevypínací a vypínací prúd pre istič.
- Obsluha cez display nastaví typ testu:
  - štandardný – meranie nevypínacím prúdom: týmto testom sa bude zvyčajne začínať.Po prechode meracou časťou sa prejde automaticky na meranie zvýšeným prúdom.

- meranie zvýšeným (vypínacím) prúdom: použije sa v prípade, že test nevypínacím prúdom bol prerušený na dlhší čas a nedá sa využiť automatický prechod na meranie zvýšeným prúdom.
- Riadiaci systém nastaví cez stýkače prúdovú cestu.  
Meracia časť testovania je určená pre vykonávanie nasledujúcich činností:
- Obsluha odštartuje test tlačidlom „Štart testu“ na pulte.
- Menič nastaví želaný prúd, a po dosiahnutí želaného prúdu vysielá cyklicky sleduje, že želaný prúd tečie cez ističe.
- Pri vypnutí niektorého z testovaných ističov zaznamená do protokolu čas jeho vypnutia, vyskratuje ho a pokračuje v teste s ostávajúcimi ističmi (návrat do predchádzajúceho kroku).
- Po uplynutí nastaveného času testu skúška končí a výsledky sú zaznamenané do protokolu na HDD riadiaceho systému.

## V. ZÁVER

V tomto príspevku je stručne popísaná základná koncepcia inteligentného výkonového zdroja pre testovanie tepelnej spúšte ističov, ktorá bola realizovaná vo forme prototypu v reálnej prevádzke vo firme SEZ Kropachy. Na základe analýzy požiadaviek na tento zdroj je zámerom navrhnúť a zrealizovať univerzálny voľne programovateľný nízkoenergetický zdroj určený na prúdové a napäťové testy najrôznejších elektrotechnických zariadení, ktorý môže nájsť v priemyselnej praxi široké využitie pri testovaní rôznych typov elektrotechnických výrobkov.

## POĎAKOVANIE



*Tento článok bol vypracovaný s podporou projektu Vývoj unikátneho nízkoenergetického statického zdroja pre elektrosystémy, ITMS 26220220029, ktorý je spolufinancovaný zo štrukturálneho fondu EÚ ERDF v rámci výzvy OPV a V-2008/2.2/01-SORO a priority osi 2 Podpora výskumu a vývoja.*

## LITERATÚRA

- [1] Kolektív: Správa o postupe riešenia hodinového testera za rok 2009. Interná správa KEMPI FEI TU v Košiciach, Košice 2010
- [2] WONSCH, firemná dokumentácia. VQFREM 400 od 4kW do 200kW. [online] Publikované 2009 Dostupné z <<http://www.vonsch.sk/produkty/vqfrem400.php?lang=sk>>.
- [3] B&R, firemná dokumentácia. Control Sytems. [online] Publikované 2014. Dostupné z <<http://www.br-automation.com>>.

# Štúdia vlastností PIR senzorov pre aplikáciu v AAL systémoch

<sup>1</sup>Linus MICHAELI, <sup>2</sup>Martin ČIŽMÁR, <sup>3</sup>Ján ŠALIGA

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií,  
Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach,  
Park Komenského 13, 042 10 Košice, Slovenská republika

<sup>1</sup>linus.michaeli@tuke.sk, <sup>2</sup>martin.cizmar@student.tuke.sk, <sup>3</sup>jan.saliga@tuke.sk

**Abstrakt** — Pyroelektrické (PIR) senzory patria k bežne používaným senzorom v najmä v oblasti zabezpečovacích systémov ako detektory vniknutia alebo pohybu v sledovanom priestore. Ich výstup je vo forme logického signálu spúšťajúceho poplach z zabezpečovacom systéme. Vzhľadom na cenu a jednoduchosť samotného PIR senzora by bolo veľmi žiadúce využiť ho aj na komplexnejšie úlohy pri detekcii udalostí v AAL systémoch. V článku je predstavená experimentálna štúdia zameraná na netradičné možnosti komplexného využitia PIR senzorov v AAL systémoch. Pri experimentoch bolo ťažisko položené na hľadanie bližších súvislostí medzi charakterom podnetu – charakteristikou detekovaného pohybu a charakteristikou odozvy - analógovým signálom na výstupe samotného jadra PIR senzora – PIR elementu. Experimenty ukázali existenciu možných súvislostí, ktoré sú ale pomerne komplexné a ich prípadné praktické využitie vyžaduje ďalšie skúmanie.

**Kľúčové slová** — pyroelektrický senzor, pyroelement, detekcia osôb a pohybu, senzorové pole, AAL

## I. ÚVOD

Jedným z celosvetových fenoménov v charakteristike populácie je jej starnutie a to nie len v Európe a USA ale vo väčšine krajín na celom svete. Starnúca populácia vyžaduje rozvoj rôznych systémov, ktoré umožňujú zlepšovať a starostlivosť o starších ľudí s rôznym stupňom odkázanosti označovaných ako Ambient Assisted Living (AAL). Tieto systémy starostlivosti využívajú rôzne elektronické a informačné systémy s cieľom zlepšiť starostlivosť pri znížení alebo zachovaní súčasných nákladov spojených s takouto starostlivosťou a vytvárať lacnejšie a efektívnejšie alternatívy k dnes dostupným službám. Na rad prichádzajú technológie, ktoré umožnia znížiť celkovú odkázanosť starších ľudí na starostlivosť, a to vo viacerých smeroch. Zníži sa tak odkázanosť na špecializované spoločnosti, ktoré sa zaoberajú starostlivosťou o starších ľudí alebo od členov rodiny. Súčasťou všetkých AAL systémov sú podsystemy pre detekciu prítomnosti a pohybu osôb, ktoré následne zo získaných údajov majú detekovať rôzne kritické situácie a udalosti ako sú pády, dlhodobejšiu nehybnosť a pod. a prípadne rôzne fyziologické údaje ako je dýchanie a pod.

Na trhu dnes existuje mnoho systémov rôznych kvalít, komplexnosti a ceny. Príkladom môže byť spoločnosť Alarm.com[1], ktorej systém využíva bezdrôtové senzory. Tieto senzory umiestnené v miestnosti pozorujú celodenné aktivity sledovanej osoby a následne sú zaznamenané dáta ukladané do databázy. Všetky tieto aktivity si môžu pozrieť jeho príbuzný cez webové rozhranie. Ak náhodou nastane nejaký nezvyčajný jav systém zareaguje a varuje príbuzných formou telefónu, sms správou alebo mailom.

Iným príkladom je spoločnosť Philips, ktorá v spolupráci so spoločnosťou Right at Home, vytvorili systém s názvom CareSensus [2]. Celé zariadenie pozostáva z bezdrôtovo pripojených diskretných senzorov pohybu. Aj tu sa údaje z jednotlivých senzorov sa spracovávajú a zisťuje sa či nenastala neobvyklá situácia. Údaje sú odosielané do spoločnosti Right at Home, kde jednotlivé situácie preveria a vyhodnocujú a popřípade kontaktujú určenú osobu. Príkladom neobvyklej situácie môže byť časté používanie toalety v nočných hodinách. Vo všetkých uvedených prípadoch aj veľmi významnú úlohu hrajú práve základné senzory pohybu.

## PIR SENZORY POHYBU OSÔB

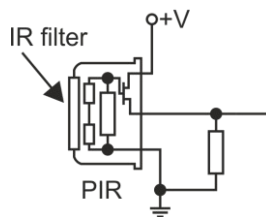
Senzory pohybu osôb je možné rozdeliť podľa princípu detekcie na pasívne a aktívne senzory. Pritom ich výstupom môže byť diskretná informácia bol/nebol detekovaný pohyb

alebo mnohoúrovňový, resp. spojitý signál nesúci spektrum informácií viažúcich sa na sledovanú scénu a udalosti v tejto scéne. Aktívne senzory využívajú nimi generovaný a spätne zachytávaný signál. Príkladom môžu byť rôzne radarové senzory využívajúce odraz vysokofrekvenčných signálov od osôb a predmetov v sledovanej scéne alebo senzory zmien umelo vytvoreného elektrického poľa pokrývajúceho sledovanú scénu.

K pasívnym senzorm patria kamerové systémy sledujúce scénu, senzory vibrácií a hluku spôsobených pohybom osoby v sledovanej scéne, senzory tlaku umiestnené v podlahe v sledovanej scéne pasívne infračervené senzory, tzv. PIR senzory využívajúce pyroelektrický jav. Výhodou PIR senzorov je nízka cena, minimálny zásah do snímanej miestnosti, deteguje pohyb v celom zornom poli senzora, žiadne rádiové pole, možnosť použitia viacerých senzorov v miestnosti bez rušenia a dlhá životnosť. Nevýhody základných PIR senzorov je, že vie detekovať iba pohyb ale nie statickú prítomnosť osôb v scéne, teda objekt bez pohybu splynie s pozadím a tak je pre senzor neviditeľným. K nevýhodám patrí aj že nie sú schopné rozpoznať viaceré osoby v miestnosti a nedetekuje sa spôsob, typ a rozsah pohybu.

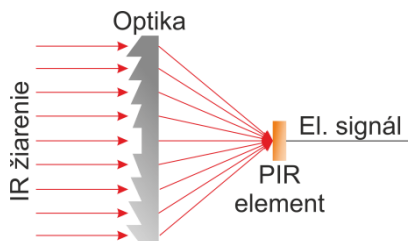
PIR senzor pracuje na základe fyzikálneho javu nazývaného pyroelektricitá. Pyroelektricitá je jav vytvárania tzv. eklectického potenciálu generovaného v určitých materiáloch ak nastane ich ohrev. Zmena dopadajúceho infračerveného žiarenia vyvoláva ekvivalentnú zmenu generovaného pyroelektrického napätia. Pyroelektricitá môže byť v jednoduchosti reprezentovaná ako jedna strana trojuholníka, kde každý koncový bod reprezentuje určitý typ energetickej hladiny v kryštáli. Prvý koncový bod odpovedá kinetickej energii, druhý elektrickú energiu a tretí tepelnú energiu. Časť medzi elektrickým a tepelným energetickým bodom predstavuje pyroelektrický efekt. Časť medzi kinetickým a elektrickým bodom reprezentuje piezoelektrický efekt. Všetky pyroelektrické materiály sú teda zároveň piezoelektrickými, keďže tieto parametre veľmi úzko súvisia.

Základným prvkom celého senzora PIR je pyroelektrický snímač. Pyroelektrické snímače fungujú na základe pyroelektrického javu, kedy sa pri zmene teploty teda zmene dopadajúceho žiarenia na senzor vytvorí náboj, ktorý je možné pomocou elektroniky zaznamenať.



Obr. 1 Principiálna schéma zapojenia PIR senzora

Tieto senzory kategorizujeme podľa počtu pyroelementov použitých v celom senzore. Senzory môžu byť s jedným, dvoma alebo aj viacerými pyroelementmi. Senzory môžu byť v puzdre zapojené do série alebo tiež paralelne. Medzi najpoužívanejšie v praxi však patria senzory s duálnymi pyroelementami a to so zapojením do série, kedy sa zvyšuje spoľahlivosť tohto senzora. Pričom dané pyroelementy majú vhodnú polarizáciu.



Obr. 2 Principiálna schéma PIR senzora

Pred samotný sensorický PIR element sa v praxi umiestňuje optika. Úlohou optiky detektora je sústreďovať IR žiarenie z povrchov objektov, ktoré sa nachádzajú v detekčných zónach vytvorených rozdelením sledovanej scény, do PIR elementu. Celkový počet detekčných zón je daný počtom segmentov zrkadla resp. počtom šošoviek. Existujú dva druhy optík a to na báze odrazových plôch a klasické šošovky. V dnešnej dobe sa klasické optické šošovky v týchto snímačoch nahradili fresnelovými šošovkami. Tieto fresnelove šošovky sú špeciálne usporiadané pre vytváranie detekčných zón a tak vznikajú rôzne druhy snímacích charakteristík.

## PIR SENZORY V AAL SYSTÉMOCH

Základnou podmienkou využitia PIR senzorov v AAL systémoch je schopnosť detekovať infračervené vyžarovanie ľudského tela. Vzhľadom na bežnú teplotu tela okolo 37°C je ich implementácia vhodná iba v priestoroch, kde okolitá teplota je odlišná od teploty ľudského tela. Podľa Planckovho zákona o žiarení čierneho telesa má žiarenie ľudského tela vlnovú dĺžku približne 9,4µm. Samotné pyroelektrické senzory pracujú v rozmedzí od 5µm do 14µm. Energia zaznamenaná snímačom je závislá od viacerých faktorov, no najmä od vzdialenosti objektu od detektora, ako aj od veľkosti jednotlivých pyroelementov daného pyroelektrického senzora. Ďalšími parametrami ovplyvňujúcimi snímanú veličinu sú rýchlosť človeka pri chôdzi prípadne pohyb jeho rúk, ktorých rýchlosť sa môže zhodovať s rýchlosťou jeho chôdze.

Signál generovaný PIR elementom je spojitý, analógový. Obsahuje pomerne výraznú stochastickú zložku. Rýchlosť zmien závisí od rýchlosti zmien dopadajúceho infračerveného žiarenia, ktorá okrem iného súvisí aj so zmenou vzdialenosti zdroja žiarenia. Veľkosť amplitúdy signálu je závislá od veľkosti zdroja žiarenia, rozloženia teplôt na povrchu zdroja, teploty okolia a vzdialenosti zdroja.

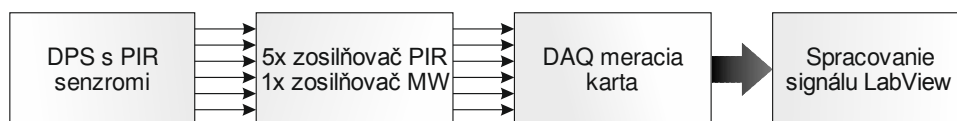
Možnosti a vlastnosti PIR senzorov pre aplikácie v AAL systémoch pre detekciu rôznych udalostí boli skúmané vo viacerých publikovaných prácach. Shankar a i. [3] ich použil na sledovanie pohybu osôb. Hao a i. v [4] použil viaceré senzory na snímanie priestoru z rôznych uhlov, lokalizovanie cieľa je odhadované na základe uhlu dopadu rozmiestnených senzorov. Hao a i. [5] následne ukázal ďalšie možnosti využitia PIR senzorov, a to že majú potenciál byť schopné rozpoznať a identifikovať malú skupinu ľudí. Prvá štúdia, v ktorej boli senzory PIR použité na detekciu pádu bola zverejnená Sixsmithom a i. [6]. Na detekciu použili pole pyroelektrických senzorov o veľkosti 16x16, ktorý bol inštalovaný na strop v miestnosti. Zaznamenával tepelný obraz ľudského tela a vedel určiť vertikálnu rýchlosť pohybujúceho sa objektu. Následne sa vďaka informácii o vertikálnej rýchlosti bol vykonaný pokus detekovať pád. V samotnej práci sa ale autori nezaoberali porovnaniami pádu s inými aktivitami. Liu a i. [7] použili vlastnosť smerovej citlivosti PIR senzora na skonštruovanie systému pre detekciu pádu. Zamerali sa na meranie rýchlosti zmeny energie v rôznych výškach, a to vo výške hlavy, horného tela a spodného tela. Systém zaznamenával jednotlivé časti tela, a teda bolo nutné aby takáto sieť senzorov mala bočný pohľad na skúmanú osobu. Nevýhodou navrhovaného systému je, že v praxi je ho možné jednoducho znefunkčniť zakrytím rôznymi objektmi ako je nábytok a pod.

Pád je pre starých ľudí jeden najzásadnejší faktor, keďže pri páde si môže daná osoba spôsobiť zlomeniny. Bolo zistené že čím skôr je takýto pád hlásený tým je menšia úmrtnosť. Preto je detekcia pádu jednou z podstatných faktorov, ktorý musí systém rozpoznať a viesť detekovať. Je mnoho metód a spôsobov na detekciu pádu. Pád ako taký je ale zložité jednoznačne matematicky modelovať a opísať. Môžeme ho opísať ako rýchlu zmenu zo sediacej alebo stojacej polohy do ležiacej polohy resp. do polohy, ktorá je podobná ležiacej polohe človeka ale nie každá takáto zmena je pádom.

Noury a i. v [8] sumarizoval existujúce systémy, algoritmy a senzory použité pri detekcii pádu starých osôb. Konštatoval, že žiaden zo systémov, ktoré boli zatiaľ vyskúšané nedosahovali 100% presnosť v praktických podmienkach. Najčastejšou a najskúmanejšou metódou detekcie pádu boli metódy, pri ktorých musel človek nosiť snímače stále so sebou. V niektorých prácach boli implementované snímače priamo do oblečenia [9], [10]. Jednalo sa o snímače založené na viacrozmerných signáloch, pričom bol nastavený jednoduchý prah resp. pozičný model, pomocou ktorého bolo možné detekovať abnormálne aktivity ([11], [12]).

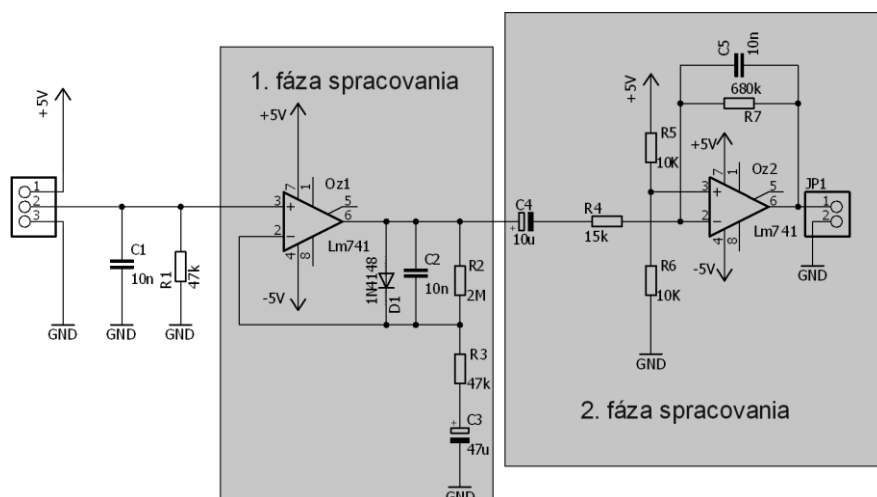
### EXPERIMENTÁLNE PRACOVISKA

Cieľom experimentálneho výskumu bolo odskúšať správanie sa a charakteristiky PIR elementu v rôznych scénach. Pre experiment bolo realizované pracovisko tak, aby signál z PIR elementu bolo možné nasnímať s minimálnymi zmenami v elektronike, digitalizovať a následne spracovať a vyhodnotiť v počítači. Pripojenie sensorického elementu k počítaču je na obr. 3.



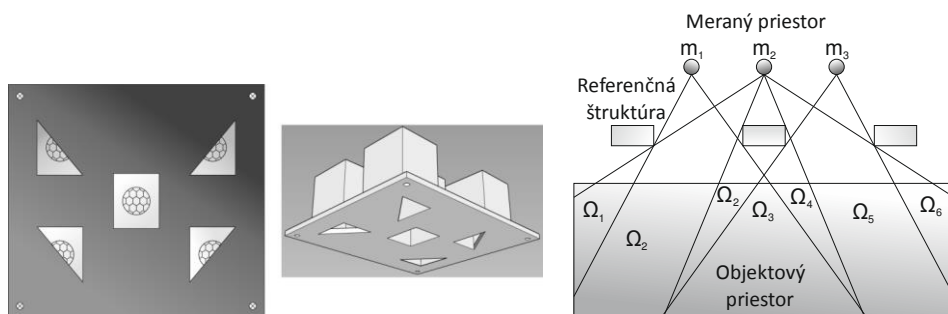
Obr. 3 Bloková schéma meracieho pracoviska

Schéma zapojenia zosilňovača PIR je na obr. 4. Pyroelektrický senzor bol typu D203S zložený z dvoch pyroelektrických elementov.



Obr. 4 Schéma obvodu predspracovania signálu

Vzhľadom na to, že experimentálny systém by mal byť podobný reálnemu, ktorý delí sledovanú scénu na sektory bol navrhnutý a realizovaný multisenzorový systém vo forme 3D tomografickej štruktúry podľa obr. 5.

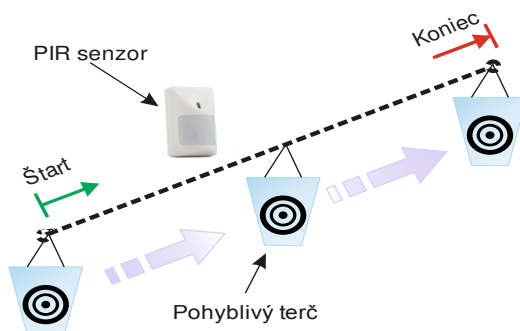


Obr. 5 Zobrazenie segmentácie viditeľnosti pre jednotlivé senzory, zobrazenie 3D modelu

Scéna je rozdelená na 5 častí a každý senzor v systéme sníma iba určitú časť scény. Tomografická štruktúra bola realizovaná na 3D tlačiarňi. Sensory spolu s elektronikou boli realizované na doske plošných spojov umiestnenej vnútri tomografickej štruktúry.

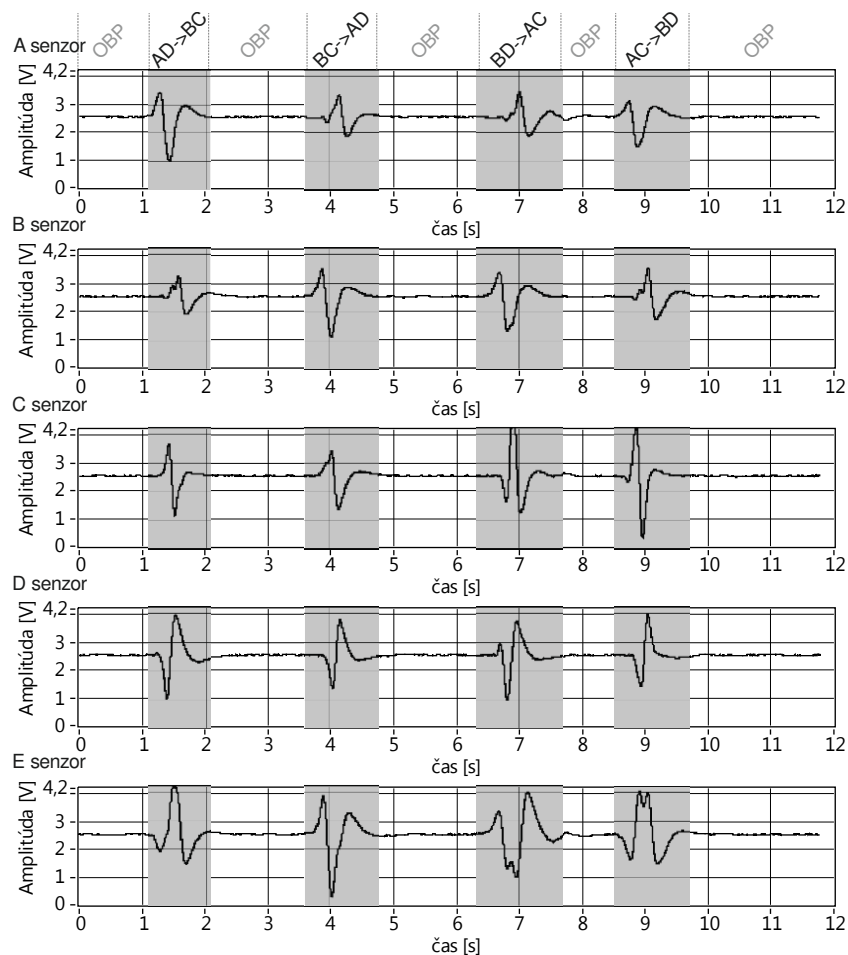
#### EXPERIMENTÁLNE VÝSLEDKY

Metodika pri meraní bola rovnaká pre všetky druhy merania. Pohyb osôb bol simulovaný pohybom terča s plochou rovnou čelnej ploche človeka na nosnom lanku posúvaného zvolenou rýchlosťou podobnou rýchlosti chôdze človeka. Terč bol presúvaný najskôr v jednom smere následne sa na druhom konci zastavil a šiel späť opačným smerom. Pri pohybe prechádzal cez sektory snímané rôznymi senzormi označovanými v ďalšom ako A až E senzory. Súčasne boli skúšané rôzne uhly prechodu terča cez sledovaný priestor pri rôznych rýchlostiach (obr. 6).



Obr. 6 Princíp merania

Vzhľadom na veľké množstvo získaných priebehov uvidíme v nasledujúcom iba niekoľko typických príkladov. Na obr. 7 sú priebehy signálov na výstupe jednotlivých senzorov pri prechode snímaného terča priečne cez jednotlivé sektory snímané senzormi A až D, pričom senzor E sníma súčasne všetky sektory a je ho možné považovať za akýsi referenčný senzor.. Z obrázku vyplýva, že impulzy od jednotlivých senzorov sa síce tvarovo čiastočne líšia ale odlišnosť je aj v časovej pozícii maxim, čo umožňuje podľa predpokladu určiť smer pohybu sledovaného terča voči pozícii jednotlivých senzorov.



Obr. 7 Časové priebehy na výstupe jednotlivých senzorov v senzorovom poli pri pohybe terča priečne cez sektory senzorového poľa.

Na obr. 8 sú priebehy získané pri pohybe terča pozdĺž hranice medzi jednotlivými sektormi. Aj tu je možné identifikovať smer pohybu aj keď veľkosť signálov je menšia ako pri priečnom pohybe. Jedným z odskúšaných riešení pre identifikáciu smeru pohybu bolo vyhodnotenie integrálu signálu namiesto priamo nasnímaného časového priebehu.

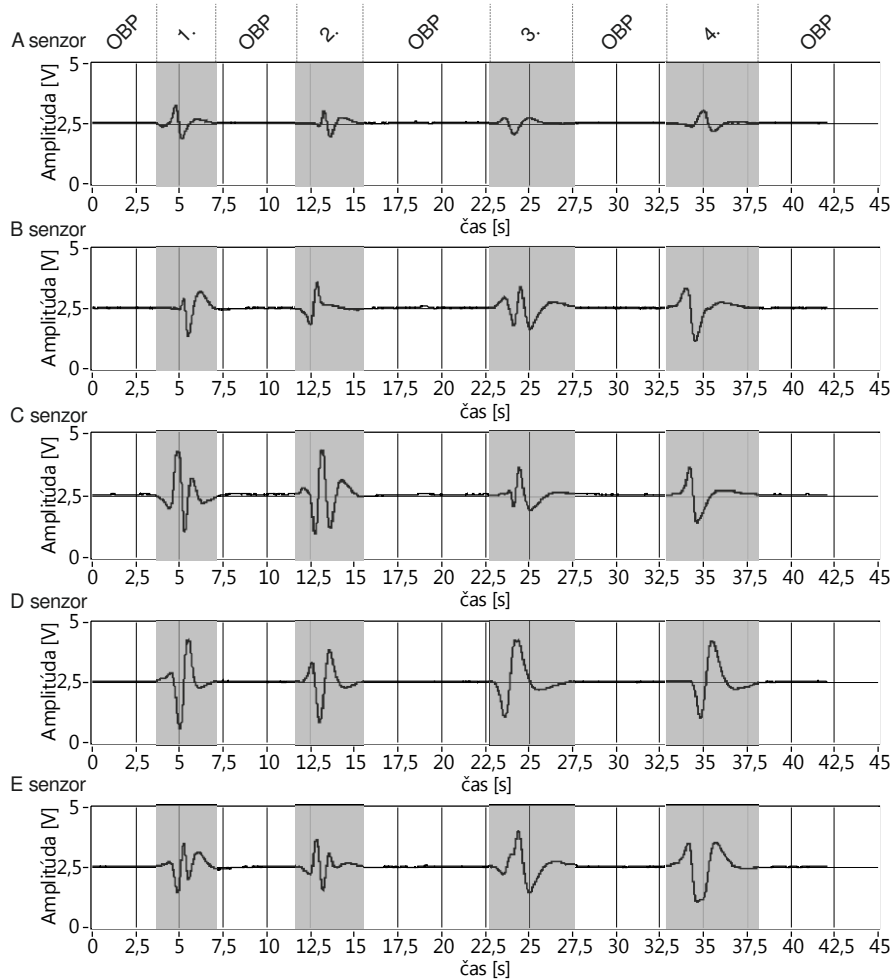
#### ZÁVER

Experimentálne výsledky uvedené v tomto článku ako aj ďalšie výsledky boli získané v rámci riešenia diplomovej práce [13]. Dosiahnuté výsledky ukazujú, že PIR senzory vo forme siete umožňujú získať základné informácie využiteľné v systémoch AAL ale zrejme použitie iba PIR senzorov nie je dostačujúce pre budovanie systémov pre sledovanie osôb v danej scéne pre potreby AAL. PIR senzorové siete bude zrejme realizovať ako súčasť komplexnejších senzorových systémov, ktoré budú kombinovať a inteligentne vyhodnocovať viacero rôznych signálov. V budúcnosti by sme chceli pokračovať v skúmaní možností PIR senzorových polí experimentálne s aplikáciou pokročilého spracovania signálov a rozšírením systému o ďalšie senzory.

#### POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore projektov KEGA 015TUKE-4/2016 a APVV-15-0692.





Obr. 8 Časové priebehy na výstupe jednotlivých senzorov v senzorovom poli pri pohybe terča po hranici medzi sektormi.

#### REFERENCIE

- [1] Alarm.com, Dostupné na webovskej stránke (world wide web): [https://www.alarm.com/about/contact\\_us.aspx](https://www.alarm.com/about/contact_us.aspx)
- [2] Philips CareSensus, Dostupné na webovskej stránke (world wide web): <http://www.usa.philips.com/healthcare/resources/landing/caresensus>
- [3] Shankar, Mohan; Burchett, John; Hao, Qi; Brady David. Human-tracking systems using pyroelectric infrared detectors. *Optical Engineering* 45(10). Október 2006.
- [4] Q Hao, D Brady, B Guenther, J Burchett, M Shankar, S Feller. Human tracking with wireless distributed pyroelectric sensors. : IEEE, December 2006, *IEEE Sensors Journal*, s. 1683-1696
- [5] Qi Hao, Fei Hu, Yang Xiao. Multiple Human Tracking and Identification With Wireless Distributed Pyroelectric Sensor Systems. IEEE, December 2009, *IEEE Systems Journal*, s. 428-439.
- [6] A. Sixsmith, N. Johnson. A smart sensor to detect the falls of the elderly. Júl 2004, *IEEE Pervasive Computing*, s. 42 – 47
- [7] Tong Liu, Xuemei Guo, Guoli Wang. Elderly-falling detection using distributed direction-sensitive pyroelectric infrared sensor arrays. December 2011, *Multidimensional Systems and Signal Processing* 23, s. 451-467. doi:10.1007/s11045-011-0161-4
- [8] Noury N1, Fleury A, Rumeau P, Bourke AK, Laighin GO, Rialle V, Lundy JE. „Fall detection--principles and methods.“ *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.*, 2007
- [9] Zhang, T. et al. „Fall detection by embedding an accelerometer in cellphone and using KFD algorithm“, *International Journal of Computer Science and Network Security*. 2006.
- [10] Mathie, M.J. Basilakis and BG Celler „A system for monitoring posture and physical activity using accelerometers“ *Annual Int. Conf. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Istanbul, 25-28 Oct. 2001.
- [11] Hwang, J.Y. et al. „Development of Novel Algorithm and Real-time monitoring Ambulatory system using Bluetooth module for fall detection in the elderly“ in *Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE-EMBS*. San Francisco, CA, USA. September 1-5, 2004
- [12] Prado, M.J. Reina-Tosina and L Roa, „Distributed intelligent architecture for falling detection and physical activity analysis in the elderly“ *Proceedings of the second Joint EMBS/BMES conference*. 2002. Houston, TX, USA. October 23-26, 2002.
- [13] Čížmár M. „Detekcia prítomnosti osôb“, diplomová práca, FEI TU v Košiciach, 2017

# Evaluácia multimodálneho dialógového systému s robotom NAO

*Stanislav ONDÁŠ, Rastislav HUSOVSKÝ*

Department of Electronics and Multimedia Communications, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

stanislav.ondas@tuke.sk, rastislav.husovsky@student.tuke.sk

**Abstrakt** — Predkladaný článok sa zaoberá evaluáciou multimodálneho dialógového systému, ktorý je postavený na humanoidnom robotovi NAO a externom dialógovom manažéri VoiceON. Vytvorený systém umožňuje multimodálnu interakciu s používateľom tak, že prijíma rečový vstup od používateľa, na ktorý reaguje pomocou syntézy reči a gest. Pre vyhodnotenie vlastností systému sme zvolili subjektívnu evaluáciu založenú na interakciách systému s testovacími subjektmi a následnom vyplnení evaluačného dotazníka. Zámerom evaluácie bolo skúmať vplyv prítomnosti resp. neprítomnosti gest na celkový používateľský dojem.

**Keywords** — multimodálna interakcia, rečový dialóg, generovanie gest, NAO

## I. ÚVOD

V súčasnosti sme svedkami postupného prieniku rečových technológií do rôznych typov rozhraní medzi človekom a strojom (HMI – Human-Machine Interface). Dôležitosť rečových technológií rastie najmä vďaka novým typom zariadení, ktoré vyžadujú aj nové typy rozhraní. Príchod dotykových displejov favorizuje skôr rečové rozhrania pred použitím virtuálnej klávesnice, kde sa znižuje komfort a presnosť písania. Taktiež, veľké pokroky v oblasti internetu vecí, prináša nové možnosti zariadeniam, ktoré takto môžu byť ovládané hlasom. Amazon Echo je typickým predstaviteľom tejto línie.

Okrem spomínaných zariadení a rozhraní je možné badať aj rýchle napredovanie v oblasti robotiky, kde jednou z atraktívnych odvetví je oblasť humanoidných robotov. Humanoidné roboty sa svojim vzhľadom podobajú na človeka a preto ľudia v interakcii s nimi majú tendenciu očakávať správanie a schopnosti podobné ľuďom. Je zrejme, že do týchto očakávaní je možné zahrnúť aj schopnosť počutia a porozumenia prirodzeného jazyka, schopnosť byť aktívnym účastníkom dialógovej interakcie a tiež schopnosť produkcie reči.

V prípade humanoidných robotov je možné komunikáciu obohatiť aj pohybmi napodobňujúcimi ľudskú reč tela. Komunikácia teda prebieha dvoma rôznymi spôsobmi naraz (multimodálne). Kombinácia reči tela (gest) a hovorenej reči v humanoidných robotoch má za úlohu podporiť prirodzenosť a efektívnosť takejto interakcie. Navyše, reč tela a gestá sú dôležitou súčasťou signálov tzv. „spätnej väzby“ (backchannel signals), ktoré nesú dôležité informácie počas medziľudskej komunikácie [7,8].

Pre zefektívnenie a zjednodušenie tvorby multimodálnych dialógových interakcií s robotom NAO sme vytvorili multimodálny dialógový systém, ktorý umožňuje rečovú komunikáciu s robotom NAO, pričom, robot reaguje pomocou rečovej syntézy a generovaním gest [1]. Dôležitým prvkom navrhnutého systému je externý dialógový manažér VoiceON [2], ktorý riadi dialógovú interakciu na základe interpretácie VoiceXML dokumentov.

Predložený článok sa venuje evaluácii navrhnutého systému, pričom boli využité metódy subjektívnej evaluácie. 30 testovacích subjektov realizovalo dialógovú interakciu s robotom, v troch rôznych nastaveniach. Následne boli vyplnené dotazníky, ktoré boli zamerané na vnímanú kvalitu interakcie. Jedným z cieľov bolo pozorovať vplyv prítomnosti resp. neprítomnosti gest na prirodzenosť, plynulosť a celkový dojem z interakcie.

Predkladaný článok má nasledovnú štruktúru. Druhá kapitola opisuje multimodálny dialógový systém vyvinutý na komunikáciu s robotom NAO. Súčasťou kapitoly je opis robota, architektúry multimodálneho systému a jeho komponentov. Tretia kapitola sa venuje evaluačnému experiment vyvinutého systému, pričom opisuje metodiku experimentu, dosiahnuté výsledky a ich diskusiu.

## II. MULTIMODÁLNY DIALÓGOVÝ SYSTÉM S ROBOTOM NAO

### A. Humanoidný robot NAO

Humanoidný robot NAO (Obr. 1) je autonómny, programovateľný robot vyvinutý spoločnosťou Aldebaran Robotics. Pracuje pod špeciálnym operačným systémom NAOqi OS, ktorý je odvodený od GNU/Linux distribúcií Gentoo.[3] Programovanie funkcií a správania pre robota je možné realizovať viacerými spôsobmi. Základným nástrojom je grafické vývojové prostredie Choregraphe, distribuovaný spolu s robotom. V tomto softvéri je možné vyberať a spájať moduly ktoré sú konfigurovateľné. Druhým dôležitým nástrojom je programovanie modulov pomocou jazyka Python. Viac komplexným a rozšíreným spôsobom programovania robota je NAOqi Framework, ktorý predstavuje SDK (Software Development Kit) robota. NAOqi Framework je multiplatformová platforma (Windows, MacOS, Linux), pomocou ktorej je možné vyvíjať softvér pre robota v jazykoch C++, Java a Python.

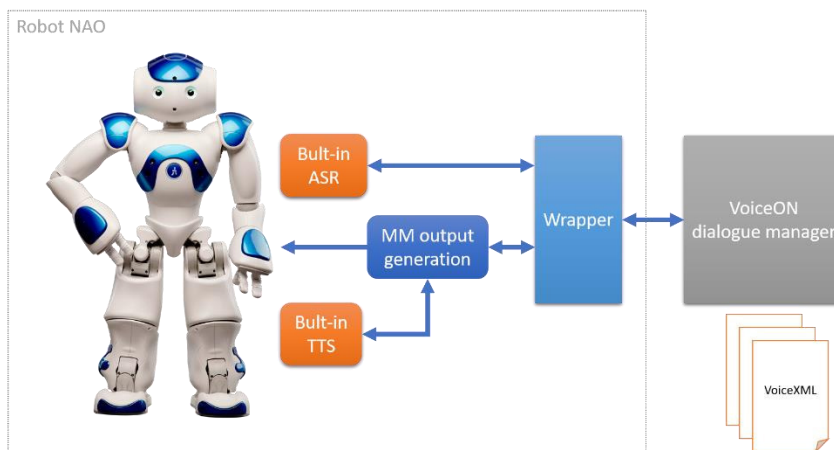


Obr. 1 Robot NAO

NAO podporuje rečové technológie ktoré umožňujú interakciu v devätnástich jazykoch, avšak v tejto skupine nie je slovenčina. Najbližším podporovaným príbuzným jazykom je čeština, ktorú je možné veľmi dobre využiť aj pre interakciu v slovenčine. Robot je vybavený aj takzvaným autonómny mód, v ktorom simuluje prirodzené pohyby človeka a snaží sa sledovať smer prichádzajúceho zvuku, pohybmi hlavy [4].

### B. Multimodálny dialógový systém

Architektúra vyvinutého multimodálneho dialógového systému je zobrazená na Obr. 2. Hlavným prvkom systému je externý dialógový manažér VoiceON, ktorý riadi interakciu na základe VoiceXML skriptov. Pre zabezpečenie rozpoznávania a syntézy reči sme nateraz využili vstavané systémy robota pre český jazyk, ktoré boli upravené pre rozpoznávanie a syntézu slovenčiny, podľa poznatkov z predchádzajúceho výskumu [5]. V budúcnosti plánujeme priamo do robota implementovať systém rozpoznávania reči založený na nástroji Július [6]. Pre ich ovládanie, ako aj ovládanie ďalších funkcií robota bol vytvorený wrapper (rozhranie) v jazyku Python, ktoré zabezpečuje výmenu správ s manažérom VoiceON. Komunikácia medzi dialógovým manažérom a wrapperom prebieha cez TCP/IP protokol.



Obr. 2 Architektúra multimodálne dialógového systému s robotom NAO

Pre zabezpečenie generovania multimodálneho výstupu v podobe spojenia reči a gest bol vytvorený blok generovania multimodálneho správania (MM output generation). Vstupom do tohto bloku je text, ktorý predstavuje reakciu robota na prichádzajúce vstupy a aktuálny stav dialógu. Tento vstupný text môže a nemusí obsahovať značky pre gestá. Blok generovania multimodálneho správania vykonáva analýzu vstupného textu a na základe pravidiel definovaných v konfiguračných súboroch generuje výstupný text pre syntézu reči a tiež gestá a ich časovanie, ktoré majú byť vykonané spolu s generovaním reči. Modul môže fungovať v troch režimoch:

- **SpeechOnly** mód – v tomto režime systém negeneruje žiadné gestá. Výstupom je iba syntetická reč.
- **RandOff** mód – v tomto režime systém generuje reč a gestá. Robot má vypnutý autonómny režim, t.j. neprodukuje náhodné pohyby.
- **RandOn** mód – v tomto režime systém generuje reč a gestá. Navyše, robot je v tzv. autonómnom režime a produkuje aj náhodné pohyby.

### III. EVALUAČNÝ EXPERIMENT

Pre navrhnutý multimodálny systém s robotom NAO sme vytvorili pilotnú aplikáciu o samotnom robotovi. Účelom evaluácie bolo vyhodnotiť vplyv prítomnosti, resp. neprítomnosti gest na celkové vnímanie interakcie používateľom, najmä jej prirodzenosti, plynulosti a celkovej vnímanej kvality používateľmi.

#### A. Pilotná multimodálna aplikácia

Pilotná multimodálna aplikácia bola vytvorená v jazyku VoiceXML, pričom boli vytvorené pomocné súbory pre generovanie multimodálneho správania pre robota NAO. Aplikáciu tvorí jednoduchý dialóg zameraný na poskytnutie informácií o robotovi NAO. Časť zdrojového kódu aplikácie je zobrazený na Obr. 3. Ukážka samotnej interakcie je zobrazená na Obr. 4.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<vxml version="1.0" lang="Slovak" application="applications/ARD.vxml">

<var name="Meno"/>

<form id="steptwo">
  <field name="YourName">
    <nomatch>
      <prompt bargein="false">Uf tvoje meno je pre mňa príliš zložitú. Ťvadá. </prompt>
      <goto next="#help"/>
    </nomatch>

    <grammar src="lang_resources/grammars/names.xml" type="application/grammar+xml"/>
    <prompt bargein="false"> Ahoj. Moje meno je NAO. Ako sa voláš ty? </prompt>

    <filled>
      <prompt bargein="false">Ahoj <value expr="YourName"/>. </prompt>
      <assign name="Meno" expr="YourName"/>
      <goto next="#help"/>
    </filled>
  </field>
</form>

<form id="help">
  <noinput>
    <prompt>Mohol by si zopakovať svoju odpoveď?</prompt>
    <reprompt/>
  </noinput>

  <field name="playHelp">
    <grammar src="lang_resources/grammars/yesno.xml" type="application/grammar+xml"/>
  </field>
</form>
```

Obr. 3. Ukážka zdrojového kódu aplikácie

START SESSION 09:36:12

DATE 03/27/17

```

MESSAGE 0 : SYSTEM: Ahoj. Moje meno je NAO. Ako sa voláš ty?
MESSAGE 1 : USER: Marek (Marek)
MESSAGE 2 : SYSTEM: Ahoj Marek.
MESSAGE 3 : SYSTEM: Ak chceš môžem ti povedať niečo o sebe.
MESSAGE 4 : USER: áno (ano)
MESSAGE 5 : SYSTEM: Pochádzam z Francúzska ale teraz žijem na Slovensku. Bývam na katedre
elektroniky a multymediálnych telekomunikácií v Košiciach.
MESSAGE 6 : SYSTEM: Ak máš trochu času poviem ti viac.
MESSAGE 7 : USER: áno (ano)
MESSAGE 8 : SYSTEM: Keď som prišiel sem nerozumel som po slovensky a bol som smutný.
Teraz je to už lepšie. Kolegovia ma naučili celkom dobre rozprávať
a už poznám aj zopár slou.
MESSAGE 9 : SYSTEM: Páči sa ti moja slovenčina?
MESSAGE 10 : USER: áno (ano)
MESSAGE 11 : SYSTEM: Ešte musím vylepšiť svoj prízvuk.
MESSAGE 12 : SYSTEM: Áách to bol ale dlhý deň, musím si trochu oddýchnuť.
Vďaka dobre som si s tebou pokecal. Maj sa Marek!
    
```

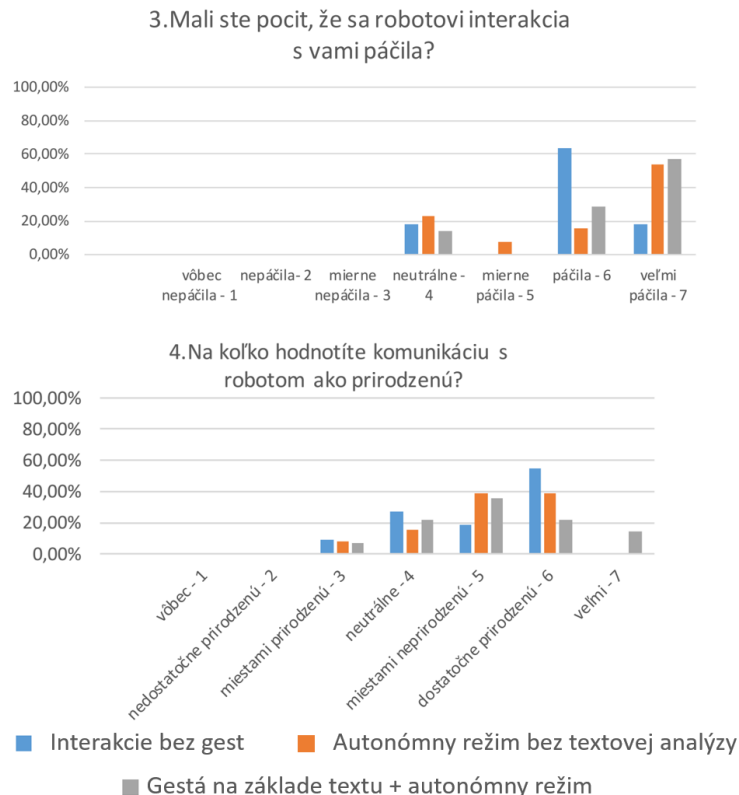
Obr. 4. Textový záznam interakcie medzi testovacím subjektom a robotom NAO

Na Obr. 4 je zobrazený záznam interakcie medzi testovacím subjektom a robotom NAO, ktorý je generovaný do log súboru. Ako je možné si všimnúť, odpovede systému sú zapísané tak, aby bola výsledná reč, syntetizovaná vstavaným systémom TTS pre češtinu, vyslovená foneticky správne po slovensky.

### B. Výsledky evaluačného experimentu

Evaluačný experiment bol vykonaný s tridsiatimi testovacími subjektmi (študentmi), ktorí interagovali s robotom. Študenti boli rozdelení do troch skupín po desiatich. Každá skupina interagovala so systémom v troch režimoch generovania multimodálneho správania – SpeechOnly, RandOff a RandOn. Po vykonaní interakcie, každý študent vyplnil dotazník.

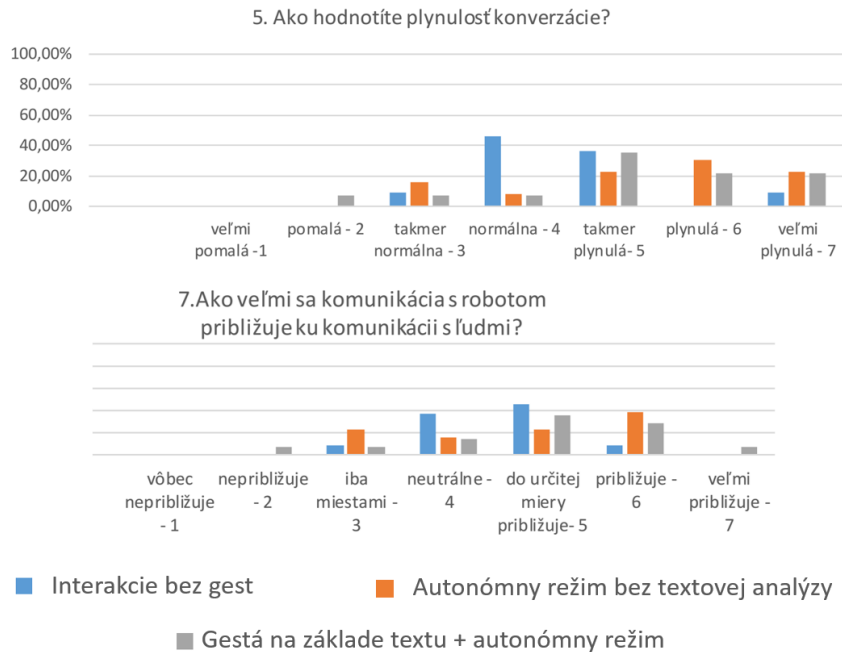
Výsledky dotazníkov sú zobrazené v grafoch na Obr. 5. a 6.



Obr. 5 Štatistické výsledky odpovedí na otázky 3 a 4 z evaluačného dotazníka

V prípade otázky číslo 3 je možné konštatovať, že používatelia mali dojem, že sa robotovi interakcia s nimi „veľmi páčila“ najviac pri interakciách, kde robot produkoval gestá. V prípade otázky číslo 4, ktorá sa týkala prirodzenosti interakcie, kategóriu „veľmi prirodzená“ zvolili iba respondenti, ktorý komunikovali s robotom v režime, pri ktorej je robot v autonómnom móde

a vykoná tiež generovanie gest na základe textovej analýzy syntetizovaného výstupu.



Obr. 6 Štatistické výsledky odpovedí na otázky 5 a 7 z evaluačného dotazníka

Ešte zaujímavejšie výsledky boli dosiahnuté pre otázku číslo 5, kde bola hodnotená plynulosť konverzácie. Môžeme si všimnúť, že ako „plynulú“ konverzáciu hodnotili iba používatelia, ktorý interagovali s robotom, ktorý produkoval aj gestá. Zatiaľ čo skupina testovacích subjektov, ktorí interagovali so systémom bez gest, hodnotila konverzáciu skôr ako normálne plynulú resp. takmer plynulú, skupina testovacích subjektov, ktorí interagovali so systémom produkujúcim reč a gestá, hodnotila interakciu skôr v druhej polovici spektra (od *takmer plynulej* po *veľmi plynulú*). Tento výsledok je zaujímavý najmä z toho dôvodu, že produkcia gest spomaľuje interakciu, nakoľko realizácia gest trvá istý čas a nezriedka systém čaká na dokončenie začatých gest. Napriek tomu, používatelia hodnotia interakciu so zapojením gest ako plynulejšiu, hoci objektívne nie je.

Pri otázke číslo 7 „Ako veľmi sa komunikácia s robotom približuje komunikácii s ľuďmi?“, je situácia podobná ako pri otázke číslo 4, kde najvyššie hodnotenie „veľmi približuje“ zvolili iba používatelia, ktorý interagovali so systémom v režime produkcie gest na základe analýzy textu pri zapnutom autonómnom režime. Z toho je zrejmé, že vedomé generovanie gest (na základe významu textu), spolu s pohybmi robota produkovanými autonómnym robotom zvyšujú prirodzenosť interakcie, ktorá sa tak viac podobá na interakciu medzi ľuďmi.

Napriek tomu, že výsledky experimentu neprinesli výrazne rozdiely pre jednotlivé režimy generovania multimodálneho správania, je možné na ich základe urobiť niekoľko následných záverov.

Z experimentov ďalej vyplynulo, že zapnutie autonómneho režimu, kde robot produkuje tzv. „nevedomé“ pohyby a gestá, výrazne zvyšuje vnímanie prirodzenosti interakcie. Tento výsledok sme ale očakávali. Uskutočnené experimenty ukazujú, že pridaním gest, ktoré sú generované na základe textovej analýzy syntetizovaného textu, je možné systém ďalej zlepšiť, najmä čo sa týka vnímanej prirodzenosti, resp. pocitu, že sa robotovi interakcia páčila.

#### IV. ZÁVER

Predkladaný článok opisuje vytvorený multimodálny interaktívny systém, vytvorený pre robota NAO, s externým dialógovým manažérom VoiceON a jeho evaluáciu na pilotnej aplikácii. Multimodálny systém umožňuje robotovi byť účastníkom dialógovej interakcie, pričom ako reč používateľa je vstupom systému a syntetická reč spolu s gestami sú výstupnými modalitami systému.

Pre vyhodnotenie vnímanej kvality systému a jeho aplikácií bola vykonaná subjektívna evaluácia dotazníkovou metódou. Účastníci evaluácie interagovali s multimodálnym systémom a následne vyplnili dotazník. Pre vyhodnotenie vplyvu prítomnosti resp. neprítomnosti gest počas interakcie boli účastníci experimentu rozdelený do troch skupín, podľa režimu, v ktorom systém pracoval. Výsledky evaluácie indikujú významný prínos gest, zlepšením vnímanej prirodzenosti interakcie a tiež pocitu, že sa robotovi interakcia páčila.

V budúcnosti sa plánujeme zamerať na presnejšiu synchronizáciu gest a syntetickej reči, ktorá bude vychádzať z poznatkov o produkcii gest u človeka.

#### POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore Agentúry na podporu výskumu a vývoja SR v rámci projektu APVV-15-0731 a vďaka podpore Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR v rámci projektu KEGA-055TUKE-4/2016.

#### LITERATÚRA

- [1] S. Ondáš et al., "Multimodal dialogue system with NAO and VoiceXML dialogue manager", in Advances in Electrical and Electronic Engineering journal, December 2017 (submitted).
- [2] S. Ondáš, J. Juhár, „Dialog manager based on the VoiceXML interpreter“, In: Proceedings of the DSP-MCOM 2005, 6. International conference, Košice, Technical university of Košice, 2005, s. 80-83.
- [3] NAO Technical overview [online], [http://doc.aldebaran.com/2-1/family/robots/index\\_robots.html](http://doc.aldebaran.com/2-1/family/robots/index_robots.html)
- [4] NAOqi Framework [online], <http://doc.aldebaran.com/1-14/dev/naoqi/index.html#what-is-naoqi-framework>
- [5] S. Lihan, J. Juhár, A. Čížmár, „Crosslingual and bilingual speech recognition with slovak and czech SpeechDat-E databases“, In: Interspeech 2005, Bonn, Universität Bonn, 2005 s. 225-228.
- [6] A. Lee, T. Kawahara and K. Shikano, Julius - an open source real-time large vocabulary recognition engine, in: Proceedings of European Conference on Speech Communication and Technology (Eurospeech), Aalborg, Denmark, 2001, pp. 1691-1694.
- [7] S. Al Moubayed et al., „Generating RobotAgent Backchannels During a Storytelling Experiment“, in: Proceeding ICRA'09 - Proceedings of the 2009 IEEE international conference on Robotics and Automation, 2009, Kobe, Japan., IEEE Press Piscataway, 2009, pp. 3749-3754.
- [8] S. Al Moubayed et al., „Multimodal feedback from robots and agents in a storytelling experiment“, in: Enterface'08. – Orsay, LIMSI-CNR, 2009, pp. 43-55.

# Analýza vybraného procesu logistickej firmy metódami dolovania v dátach

<sup>1</sup>Miroslava MUCHOVÁ, <sup>2</sup>Ján PARALIČ, <sup>3</sup>Lenka TKÁČOVÁ

<sup>1,2,3</sup> Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>miroslava.muchova@tuke.sk, <sup>2</sup>jan.paralic@tuke.sk, <sup>3</sup>lenka.tkacova.2@student.tuke.sk

**Abstract** — Predkladaný článok predstavuje analýzu vybraného procesu logistickej firmy s využitím metód dolovania v dátach. Hlavným cieľom je analýza štýlu jazdy vodičov na starých a nových vozidlách, kde medzi atribúty ovplyvňujúce túto jazdu patria aj charakteristiky vodičov. Dáta, ktoré boli pri riešení použité, pochádzali z logistickej firmy. Na tieto dáta sme aplikovali metodiku CRISP-DM na základe čoho sme vykonali analýzy a uskutočnili experimenty.

**Keywords** — CRISP-DM, logistika, rozhodovacie stromy

## I. ÚVOD

Dolovanie v dátach (angl. data mining) môže viesť k odhaleniu cenných poznatkov a vzorov v databáze. Z tohto dôvodu sa dnes dolovanie v dátach využíva skoro vo všetkých oblastiach. Avšak vysoký stupeň informatizácie mnohých oblastí so sebou prináša množstvo dát, ktoré je potrebné uložiť. S tým súvisí čoraz nižšia prehľadnosť a taktiež množstvo informácií, ktoré môžeme z daných dát vyhľadať. Informácie a znalosti môžu byť veľmi cenné, ak sú použité v správnom čase. Pri enormnom množstve dát sa hľadanie relevantných informácií sťažuje.

S veľkým množstvom dát sa môžeme stretnúť napríklad v spoločnostiach, ktoré svoje služby ako napríklad predaj leteniek, rezervácia dovolení či cestovných lístkov poskytujú veľkému počtu zákazníkov. Štátna správa, zdravotníctvo, bankovníctvo sú ďalšími zberateľmi nespočetného množstva dát. Postupy dolovania v dátach sa používajú aj v ekonomickej oblasti napr. pri analýze a predikcii úverového rizika [1]. V marketingu na predpovedanie, hľadanie nových zákazníkov a v oblasti styku s nimi, pretože práve oni predstavujú najväčší prínos. Data mining sa využíva aj v poisťovníctve a to na detekciu finančných podvodov odhalením nezvyklých transakcií [9].

### A. Data mining v logistike

Tak ako vo svete, aj na Slovensku patrí doprava a logistika medzi dôležité odvetvia hospodárstva. Plánovanie prepravy, riadenie zásob, sledovanie zásielok, dopĺňovanie regálov v obchodoch, obsluha zákazníkov, to všetko je postavené na obrovskom množstve dát. Stačí si predstaviť, aké množstvo áut prejde v priebehu pár minút po diaľnici alebo koľko zákazníkov sa vystrieda pri jednej pokladni v supermarketoch [2].

## II. SPRACOVANIE DOSTUPNÝCH DÁT

Dáta, ktoré boli k dispozícii pre naše analýzy, pochádzali z logistickej firmy. Informácie o vozidlách a vodičoch boli uložené v samostatných excelovských súboroch [3]. Jedna z excelovských tabuliek obsahovala meno vodiča, vozidlo, prejdenu vzdialenosť, priemernú spotrebu paliva v l/100 km, štát v ktorom sa vodič nachádzal a ďalšie atribúty. Celkový počet atribútov bol 18. Druhý excelovský súbor obsahoval atribúty ako dátum, tempomat, neúsporná jazda, voľnobeh, predvídanie, zaťaženie motora, celkové hodnotenie a iné. Celkový počet atribútov v tomto súbore bol 26. Všetky spomínané atribúty sú numerické, okrem atribútov vodič a krajina, ktoré sú symbolické.

### A. Prieskum dát

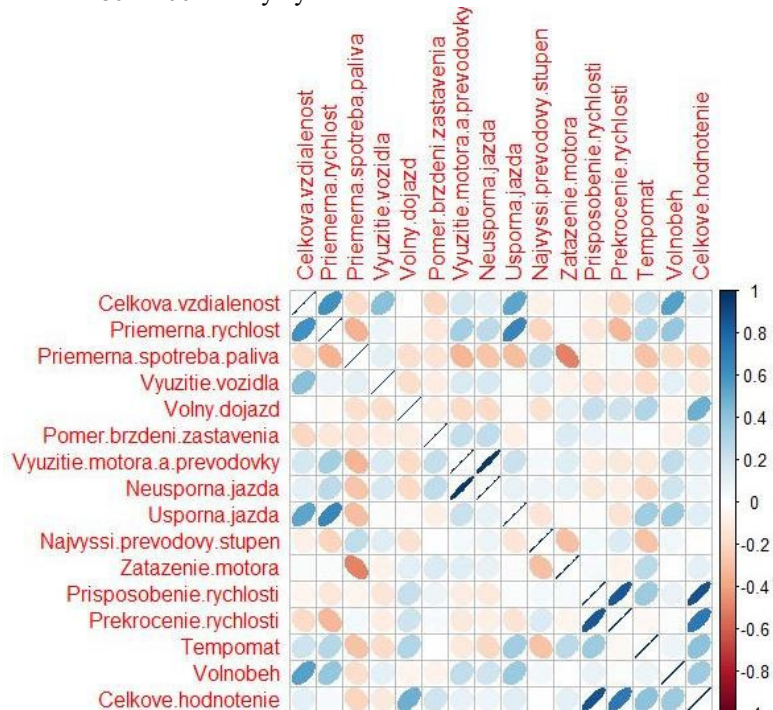
Na Obr. 1 sú zobrazené korelácie, ktoré majú atribúty medzi sebou. Zobrazená škála nám ukazuje, ako je hodnota korelačného koeficientu na farbu elipsy [4]. Napríklad ak dva atribúty medzi sebou silne pozitívne korelujú, elipsa je tmavo modrá a jej tvar sa približuje k tvaru



priamky. Analogicky, ak je elipsa tmavo hnedej farby a jej tvar sa blíži k tvaru priamky, dané dva atribúty sú silne negatívne korelované.

Spomedzi 44 atribútov vyberieme pre ďalšiu prácu 18. Je to z toho dôvodu, že sme odstránili medzi sebou silne korelované atribúty a atribúty, ktoré boli neúplné alebo nerelevantné. Následne sme atribút Celkové hodnotenie diskretizovali, a to nasledovne:

- 0 – 59: Potenciál na zlepšenie
- 60 – 79: Priemer
- 80 – 100: Dobrý výkon



Obr. 1 Corrplot, závislosť atribútov navzájom

Tabuľka 1  
 Škála korelácie

Interval	Sila korelácie
<0 – 0,4)	Slabá korelácia
<0,4 – 0,8)	Stredná korelácia
<0,8 – 1,0)	Silná korelácia

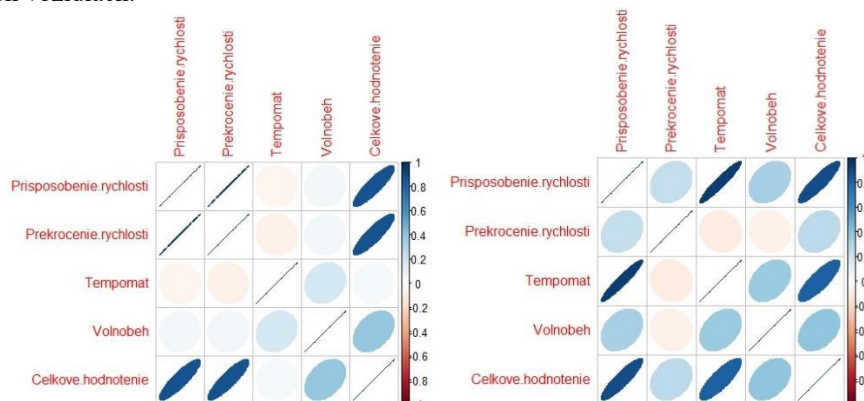
Tabuľka 2  
 Korelačná matica

	Priemerná spotreba paliva	Zaťaženie motora	Prispôsobenie rýchlosti	Prekročenie rýchlosti	Celkové hodnotenie
Priemerná spotreba paliva	-	-0.49746276	-0.05080604	0.04598003	-0.2125553
Zaťaženie motora	-0.49746276	-	0.03847903	-0.05430127	0.1091232
Prispôsobenie rýchlosti	-0.05080604	0.03847903	-	0.84797897	0.8666942
Prekročenie rýchlosti	0.04598003	-0.05430127	0.84797897	-	0.7109332
Celkové hodnotenie	-0.21255532	0.10912318	0.86669423	0.71093315	-

### B. Závislosť medzi vozidlami

Spoločnosť ktorá nám poskytla dáta disponuje 9 vozidlami. Pomocou dátumu zaradenia vozidiel do používania, sme si vozidlá rozdelili na dve skupiny. Jedna skupina obsahovala 3 vozidlá, ktoré boli do používania zaradené v roku 2012. Túto skupinu vozidiel sme pomenovali „staré vozidlá“. V druhej skupine sa nachádzalo 6 vozidiel, ktoré boli do používania zaradené v roku 2013, 2015 a 2016. Túto skupinu vozidiel sme si pomenovali „nové vozidlá“. Nasledujúci obrázok (Obr. 2) predstavuje závislosť atribútov medzi novými a starými vozidlami [4]. Ide o korelačnú maticu v grafickej podobe. Na ľavom obrázku sa nachádza matica zostavená z atribútov nových vozidiel, zatiaľ čo na pravom obrázku je zobrazená korelačná

matica týkajúca sa starých vozidiel. Z obrázku je jasne viditeľné, že atribúty medzi sebou rozlične korelujú. Zatiaľ čo na novom aute je medzi atribútmi Tempomat a Celkové hodnotenie korelácia nulová, na starom aute je medzi týmito atribútmi silná pozitívna závislosť. V ďalšej časti práce preto budeme zisťovať, aké hodnotenie štýlu jazdy získavajú vodiči na starých a nových vozidlách.



Obr. 2 Corrplot, závislosť atribútov na nových (vľavo) a starých (vpravo) vozidlách

### C. Rozhodovacie stromy

Rozhodovacie stromy sme si zvolili ako techniku modelovania kvôli ich jednoduchej interpretovateľnosti [5][6]. Dáta sme si rozdelili v pomere 70:30 (70% dát bolo použitých na tréningovanie modelu, 30% dát bolo použitých na testovanie modelu). Na Obr. 3 sú zobrazené výsledné rozhodovacie stromy pri použití iba jedného atribútu, a to Prispôsobenie rýchlosti pre nové vozidlá (vľavo) a pre staré vozidlá (vpravo).



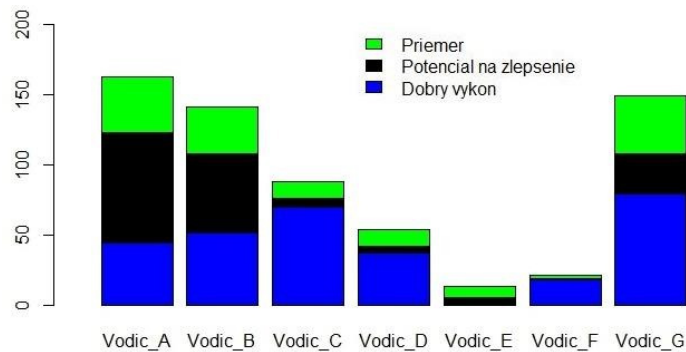
Obr. 3 Rozhodovací strom pre staré a nové vozidlá

Atribút Prispôsobenie rýchlosti sme si zvolili preto, pretože sú na ňom dobre pozorovateľné rozdiely na nových a starých vozidlách. Aby vodič na starom vozidle dosiahol dobrý výkon hodnotenia jazdného štýlu, stačí mu, ak pri atribúte Prispôsobenie rýchlosti dosiahne hodnotu 73,5. Naopak, ak vodič bude jazdiť na novom vozidle, na dosiahnutie dobrého výkonu hodnotenia jazdného štýlu potrebuje pri atribúte Prispôsobenie rýchlosti dosiahnuť hodnotu 99,5. Obidva rozhodovacie stromy dosahujú na testovacej množine presnosť 75%.

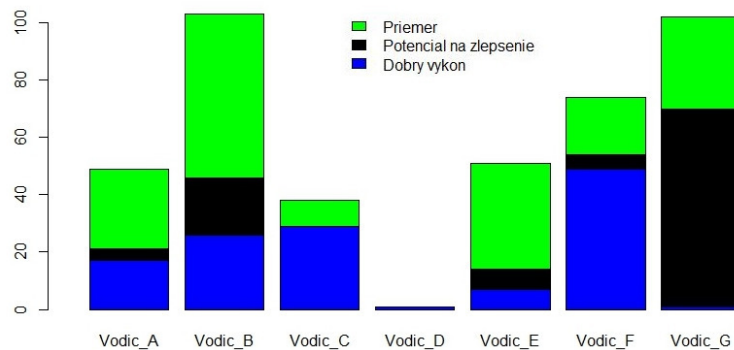
### D. Vyhodnotenie

Na základe výsledkov z rozhodovacích stromov môžeme povedať, že Vodič\_A na novom vozidle dosahuje priemerné slovné hodnotenie, zatiaľ čo Vodič\_G na tom istom vozidle dosahuje hodnotenie dobrý výkon, čo je najvyššie možné hodnotenie. Pri starom vozidle však Vodič\_G dosahuje priemerné až podpriemerné hodnotenie a Vodič\_A dosahuje hodnotenie dobrý výkon. Aj takéto informácie môžu pomôcť majiteľovi firmy rozhodnúť sa, akého vodiča priradiť k akému vozidlu.

Na nasledujúcich grafoch sú zobrazené slovné hodnotenia, ktoré vodiči získavajú na vozidlách. Z prvého grafu (Obr. 4) vyplýva, že Vodič\_A na novom vozidle v 48 prípadoch získal hodnotenie Potenciál na zlepšenie, zatiaľ čo na starom vozidle (Obr. 5) toto hodnotenie získal len v štyroch prípadoch. Naopak Vodič\_G na novom vozidle v 19 prípadoch získal hodnotenie Potenciál na zlepšenie. Na starom vozidle získal slovné hodnotenie Potenciál na zlepšenie v 67 prípadoch.



Obr. 4 Slovné hodnotenie na nových vozidlách



Obr. 5 Slovné hodnotenie na starých vozidlách

Z dosiahnutých výsledkov vyplýva, že Vodič\_A dosahuje lepšie výsledky a teda lepšie slovné hodnotenie na novom vozidle, zatiaľ čo Vodič\_G dosahuje lepšie výsledky a teda lepšie slovné hodnotenie na starom vozidle.

### III. ZÁVER

Predkladaný článok sa venoval využitiu metód dolovania v dátach pre vybraný typ logistického procesu pričom sa prihliadalo na konkrétnu logistickú firmu, ktorej dáta sme mali k dispozícii. Pri analyzovaní dát sme postupovali podľa známej metodiky CRISP-DM. Po príprave, verifikácii a prieskume dát sme prešli k modelovaniu. Samotné modelovanie pozostávalo z nájdenia rozdielov medzi novými a starými vozidlami. Prostredníctvom rozhodovacích stromov sme vytvorili jedno-atribútové rozhodovacie stromy pomocou ktorých sme sledovali rozdiely medzi jednotlivými atribútmi starých a nových vozidiel. Z výsledných rozhodovacích stromov vyplynulo, že ten istý vodič dosahuje na novom vozidle iné hodnotenie ako keď jazdí na starom vozidle. V tomto článku bol bližšie poukázaný rozdiel medzi Vodičom\_A a Vodičom\_G. Pri pochopení a príprave dát, ako aj pri samotnom modelovaní sme využívali vývojové prostredie R-Studio, v ktorom sme sledované rozhodovacie stromy a taktiež ďalšie grafy vytvárali.

### POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt "Centrum informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy" (kód ITMS:26220120020), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

### LITERATÚRA

- [1] Bao,H.: Knowledge discovery and data mining – Techniques and practice, Institute of Information Technology, Hanoi, Vietnam. Dostupné na internete: <http://www.netnam.vn/unescocourse/knowledge/knowledge.htm>
- [2] Lacko, Ľuboslav: Business Intelligence v Microsoft SQL Server 2008: Business Intelligence. Publikované v roku 2008.
- [3] Muchová, M., Paralič, J.: Analýza dát za účelom zlepšenia konkrétneho firemného procesu logistickej firmy. In: WIKT&DaZ 2016: Proceedings from Conference. Bratislava: STU, (2016), pp. 299-304, ISBN 978-80-227-4619-9
- [4] Data Mining: Štatistické metódy v data mining-u. Dostupné na internete: <http://www.posterus.sk/?p=16184>
- [5] Gyurkovics, Norbert: Datamining a technika rozhodovacích stromov. Dostupné na internete: <http://www2.fiit.stuba.sk/~kapustik/ZS/Clanky0910/gyurkovics/index.html>
- [6] Kostík, Ľuboš – Saloky, Tomáš: Niektoré z problémov pri získavaní dát pomocou rozhodovacích stromov. Publikované v roku 2006. Dostupné na internete: [http://www.atpjournals.sk/buxus/docs/casopisy/atp\\_plus/plus\\_2006\\_2/plus55\\_57.pdf](http://www.atpjournals.sk/buxus/docs/casopisy/atp_plus/plus_2006_2/plus55_57.pdf)

# Analýza dát z logistickej firmy s využitím nástrojov Business Intelligence

<sup>1</sup>Miroslava MUCHOVÁ, <sup>2</sup>Ján PARALIČ, <sup>3</sup>Barbora NAGYOVÁ

<sup>1,2,3</sup> Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>miroslava.muchova@tuke.sk, <sup>2</sup>jan.paralic@tuke.sk,

<sup>3</sup>barbora.nagyova@student.tuke.sk

**Abstract** — Cieľom prezentovanej práce bolo spracovanie, úprava a analýza dát z logistickej firmy s použitím nástrojov Business Intelligence. Článok popisuje aplikovanie metodológie CRISP-DM na reálne dáta z logistickej firmy za účelom vytvorenia OLAP kocky. OLAP kocka je analyzovaná pomocou nástroja OBIEE 12c od firmy Oracle. Analýza spočívala vo vytvorení používateľských scenárov, ktoré majú používateľovi pomôcť pri lepšej vizualizácii dát a hodnotení spotreby jednotlivých kamiónov. Používateľské scenáre majú širokú škálu použitia a môžu byť nápomocné aj pri hodnotení výkonu jednotlivých vodičov a ich pracovnom vyt'azení.

**Keywords** — Business Intelligence, CRISP-DM, OLAP analýzy

## I. ÚVOD

Proces analýzy dát je vykonávaný rôznymi prostriedkami na základe potrieb jednotlivých firiem. Jedným z prostriedkov na spracovanie a vizualizáciu dát je aj Business Intelligence (BI). Pod týmto pojmom sa skrýva viacero významov. Jedným z nich je aj poskytovanie dôveryhodných informácií pracovníkom, ktoré by mali plnohodnotne využiť pri kvalifikovaných rozhodnutiach a podnikových procesoch. BI technológia dokáže prostredníctvom počítačových kľúčových indikátorov výkonu určiť podnikové ciele [1], [2]. BI je tiež schopnosť vnímať vzájomný vzťah predložených faktov takým spôsobom, aby sa dosiahli požadované ciele podniku.

Nástroje BI môžu byť poskytované od rôznych firiem. V tejto práci sme si vybrali nástroje firmy Oracle. Pomocou týchto nástrojov sme na základe analýzy dát z logistickej firmy vytvárali používateľské scenáre.

## II. ANALÝZA EXISTUJÚCICH RIEŠENÍ

Prvá prípadová štúdia [3] popisuje analýzu dát z GPS a CAN bus systému. K dispozícii sú dáta, ktoré poskytujú informácie o vozidlách (napr. aktuálna poloha, rýchlosť), informácie o stave vozidla, dáta o počasí a ďalšie súvisiace údaje. Na základe týchto dát vytvorili autori dátový sklad. Logický model pre vytvorený dátový sklad je založený na hviezdicovej schéme. Cieľom prípadovej štúdie bolo vytvoriť systém, ktorý efektívne reaguje na širokú škálu požiadaviek z reálneho sveta od dopravných projektantov, manažérov a výskumníkov. Systém je v prevádzke od roku 2011 a je používaný na výskum a komerčné účely. GPS dáta z mnohých zdrojov sú integrované do jednotného modelu dátového skladu.

Ďalšia prípadová štúdia [4] bola zameraná na funkčnú analýzu spotreby paliva nákladných áut. Dáta boli zbierané pomocou elektronického systému Low voltage directive (LVD). Zaznamenané dáta o vozidle boli zbierané zo senzorov vnútri vozidla. Autori v tejto prípadovej štúdii použili metódy ako analýza hlavných komponentov, hierarchické zhlukovanie, metódu validácie, funkčné dátové analýzy a podobne. Prvá časť analýzy dát o kamiónoch bola zameraná na stanovenie výsledkov s použitím základnej viacrozmernej analýzy a ich porovnanie s výsledkami funkčnej analýzy. Táto časť ukazuje úskalia a problémy pri uplatňovaní štandardnej viacrozmernej metódy. Okrem iného pomocou funkčnej dátovej analýzy autori poukazujú na problém aplikácie tejto analýzy na dáta. Hlavnou úlohou bolo preto aplikovať PACE (Preflight Analysis and Correction Engine) algoritmus. Cieľom bolo zistiť

vplyv sezónnych zmien na spotrebu paliva. Autori prišli so zistením, že spotrebu paliva je ťažké predikovať z dôvodu rýchlo sa meniaceho životného prostredia.

### III. ANALÝZA ZVOLENEJ MNOŽINY DÁT

Naším cieľom bolo analyzovanie dát z logistickej firmy s použitím nástrojov Business Intelligence [3], [5]. Článok sa hlavne zameriava na prípravu dát, efektívne spracovanie surových dát, ich uloženie do dátového skladu, tvorbu používateľských scenárov a analýz zaujímavých pre používateľa.

#### A. Pochopenie dát

Použité dáta sú z firmy, ktorá poskytuje prepravu prostredníctvom kamiónov. Tieto dáta sú zozbierané pre kamióny A až I. V prípade kamiónov A, B a C sú dostupné dáta za obdobie od januára 2012 do februára 2016 [6]. Pre kamióny D až I sú k dispozícii dáta od marca 2016 do septembra 2016. Dáta sú vo formáte .xlsx. Pre každé vozidlo je k dispozícii výkaz hodnotenia spotreby paliva, prostredníctvom ktorého sledujeme spotrebu paliva vozového parku, na základe ktorého dokážeme zistiť ako efektívne sú využívané vozidlá jednotlivými vodičmi. K dispozícii boli atribúty ako napr. priemerná spotreba paliva v l/100km, predvídanie, úsporná a neúsporná jazda, zaťaženie motora, využitie spojky, tempomat, prekročenie rýchlosti a ďalšie. K dispozícii sú aj údaje zo zostavy sledovania. Uvedené údaje podávajú informáciu o polohe a udalostiach pre vozidlo, alebo skupinu vozidiel za určitý časový interval. K dispozícii boli atribúty ako meno vodiča, miesto, prejdená vzdialenosť a podobne [7].

#### B. Príprava dát

V tejto fáze CRISP-DM bolo potrebné rozdeliť dáta do tabuliek faktov a tabuliek dimenzií ale najskôr je potrebné odstrániť niektoré atribúty a vybrať dáta, ktoré budeme analyzovať. V týchto dátach sa nenachádzalo veľa hodnôt, ktoré bolo potrebné odstrániť. Keďže poskytnuté dáta nie sú zlučiteľné, vybrali sme si atribúty z výkazu hodnotenia spotreby paliva a niektoré atribúty zo zostavy sledovania. Podstatným atribútom pre ďalšie analýzy zo zostavy sledovania bolo meno vodiča, ktorý na danom kamióne jazdil a štát, v ktorom sa nachádzal s daným vozidlom.

#### C. Vytvorenie dátového modelu

Na vytvorenie dátového modelu bol použitý Oracle SQL DataModeler. V tomto nástroji bolo vytvorených 12 tabuliek dimenzií a 2 tabuľky faktov. Tabuľky dimenzií boli vytvorené ako prvé a následne boli vytvorené tabuľky faktov, ktoré bolo potrebné prepojiť s tabuľkami dimenzií prostredníctvom ich primárnych kľúčov.

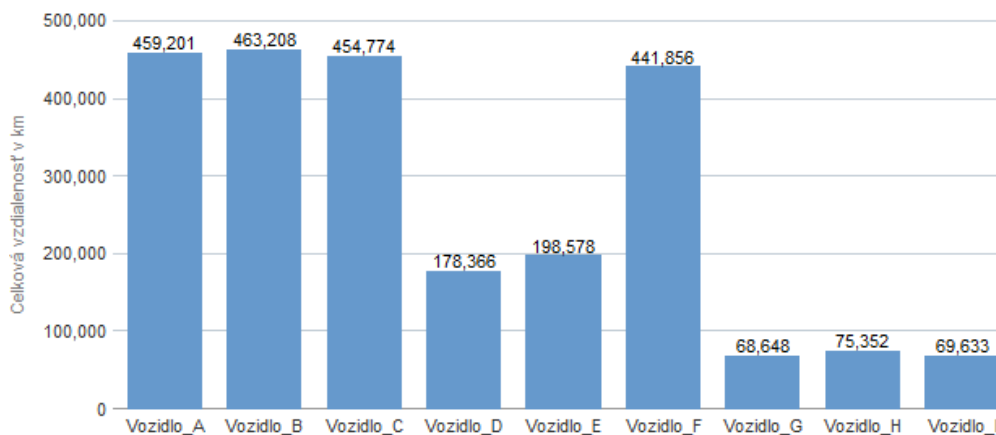
### IV. NAVRHNUTÉ POUŽÍVATEĽSKÉ SCENÁRE A ICH REALIZÁCIA

V tejto časti článku sa venujeme vytváraniu analýz pre používateľa. Sú to analýzy, ktoré majú uľahčiť výber informácií, ktoré sú pre používateľa potrebné a užitočné. Pomocou analýz sa bude môcť používateľ lepšie rozhodovať a sledovať, akú spotrebu majú jednotlivé vozidlá a čo na ich spotrebu najviac vplyva. Výberom vhodných atribútov sme vytvorili nasledujúce používateľské scenáre.

#### A. Používateľský scenár č. 1 – Analýza priemernej spotreby vozidiel

Tento používateľský scenár má širokú škálu použitia. Je možné sledovať akú spotrebu mali vozidlá v jednotlivých rokoch. Je možné porovnávať, v ktorom roku bola najlepšia spotreba, je možné pridávať ďalšie dimenzie pre zistenie informácií, ktoré sú pre danú analýzu potrebné. Ak porovnáme priemernú spotrebu paliva za rok 2015 a 2016, môžeme povedať, že jedine Vozidlo\_B má v roku 2016 o 5 litrov vyššiu priemernú spotrebu ako v predchádzajúcom roku. V nasledujúcom kroku sa preto pozrieme, koľko kilometrov prešli dané vozidlá a ako to ovplyvnilo ich priemernú spotrebu.

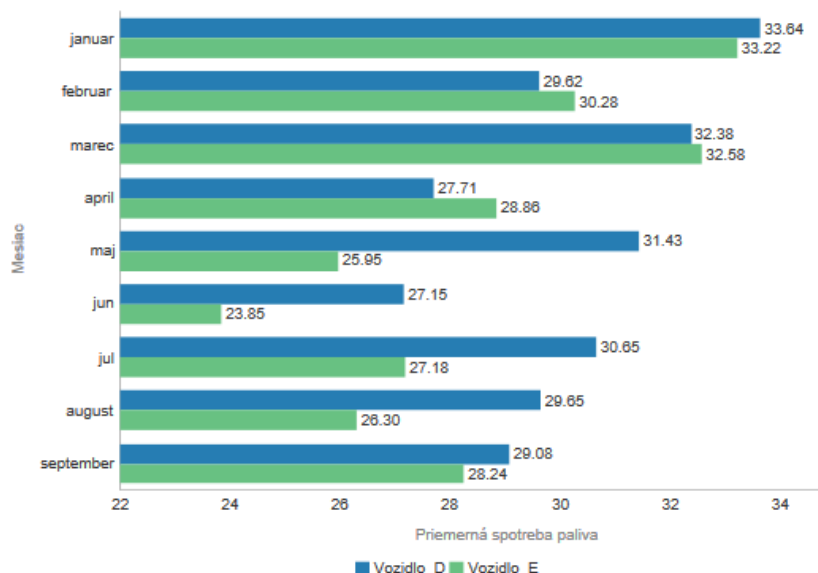
Prvým rozšírením scenára je zistenie vplyvu prejdenej vzdialenosti na priemernú spotrebu. Hlbším vnorením sa do dát je možné zistiť súvislosti, ktoré na prvý pohľad možno nie sú až také viditeľné. V tomto rozšírení sme na vybranej vzorke dát zistili, že kratšie používané vozidlá majú nižšiu spotrebu paliva ako tie, ktoré sú používané dlhšie.



Obr. 1 Celková vzdialenosť prejdaná vozidlami za 4 roky.

V nasledujúcom kroku sme sa rozhodli vybrať dve vozidlá, ktoré boli používané v rokoch 2015 a 2016 a porovnať ich spotrebu. Boli to Vozidlo\_D a E. Vozidlo\_E prešlo viac km ako Vozidlo\_D, no v roku 2016 malo nižšiu spotrebu. V nasledujúcej analýze sme sa preto rozhodli analyzovať rok 2016.

V roku 2016 malo Vozidlo\_E ročnú spotrebu nižšiu ako Vozidlo\_D. V letných mesiacoch od mája do augusta je spotreba Vozidla\_E v porovnaní s inými mesiacmi nižšia o viac ako 3 litre. V máji 2016 dokonca o necelých 6 litrov.

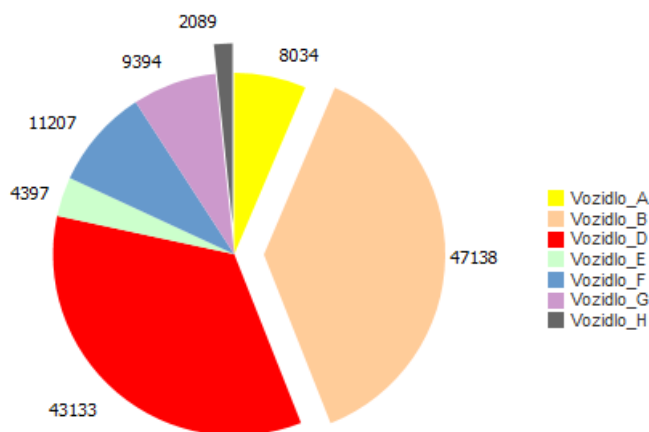


Obr. 2 Priemerná spotreba vozidiel D a E v roku 2016

Ak si to všetko zhrnieme výsledkom tejto analýzy je, že najlepšiu ročnú spotrebu z vozidiel, ktoré sme analyzovali počas rokov 2015 a 2016 a boli používané 4 roky má Vozidlo\_C. Jeho spotreba sa počas týchto dvoch rokov veľmi výrazne nezmenila. Ak sme porovnali vozidlá D a E, ktoré sa používali len v rokoch 2015 a 2016 zistili sme, že aj napriek tomu, že Vozidlo\_E prešlo viac ako Vozidlo\_D, malo lepšiu spotrebu. Zamerali sme sa na kritické dni a došli sme k záveru, že vodiči by mali zlepšiť atribúty neúsporná jazda, najvyšší prevodový stupeň a úplné zastavenie, ktoré podľa nášho názoru dosť podstatne ovplyvnili spotrebu v kritických dňoch.

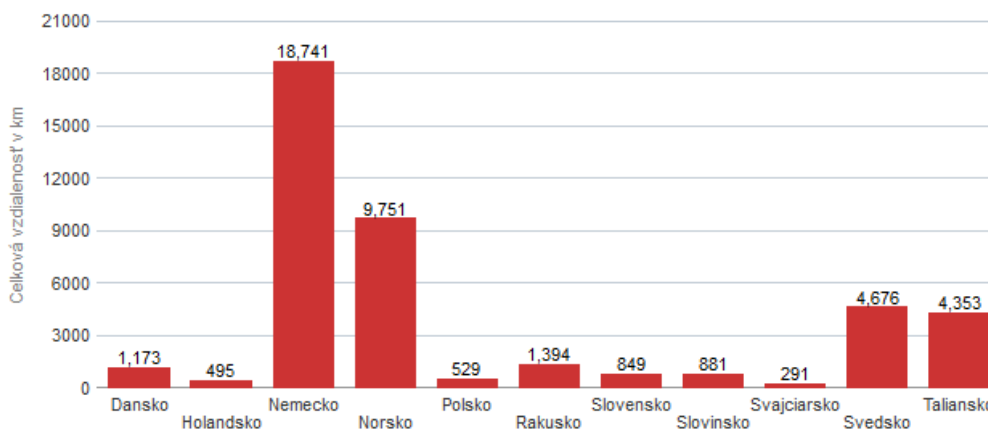
#### B. Používateľský scenár č. 2 – Analýza prejdenej vzdialenosti

V používateľskom scenári č. 2 sme sa zamerali na to, ako vodič jazdil počas 4 rokov na jednotlivých vozidlách. Najviac jazdil Vodič\_G a najmenej Vodič\_M. V ďalšej analýze sme sa preto zamerali na Vodiča\_G.



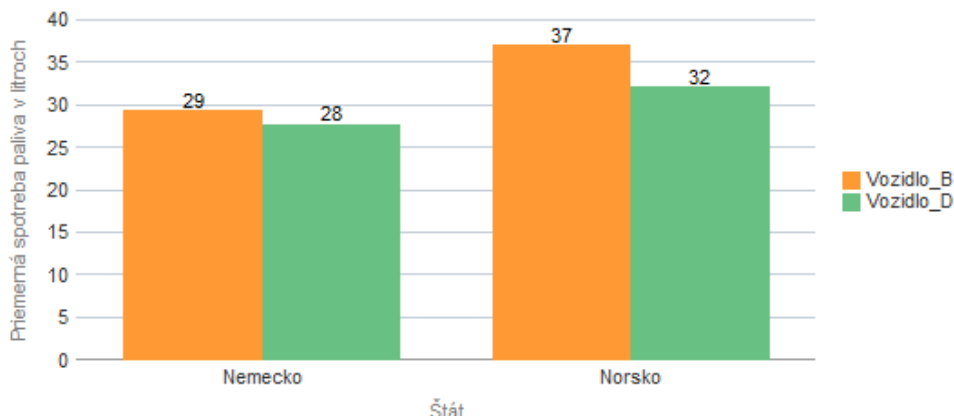
Obr. 3 Počet kilometrov prejdých Vodičom\_G na jednotlivých vozidlách v km

Tento používateľský scenár sme rozšírili o atribút štát s cieľom zistiť v akých krajinách jazdil Vodič\_G najviac. Keďže Vodič\_G najviac jazdil na Vozidle\_B a D rozhodli sme sa analyzovať práve tieto dve vozidlá. Môžeme preto povedať, že najčastejšie navštevované krajiny sú Nórsko a Nemecko.



Obr. 4 Vzdialenosť ktorú prešiel Vodič\_G v jednotlivých krajinách

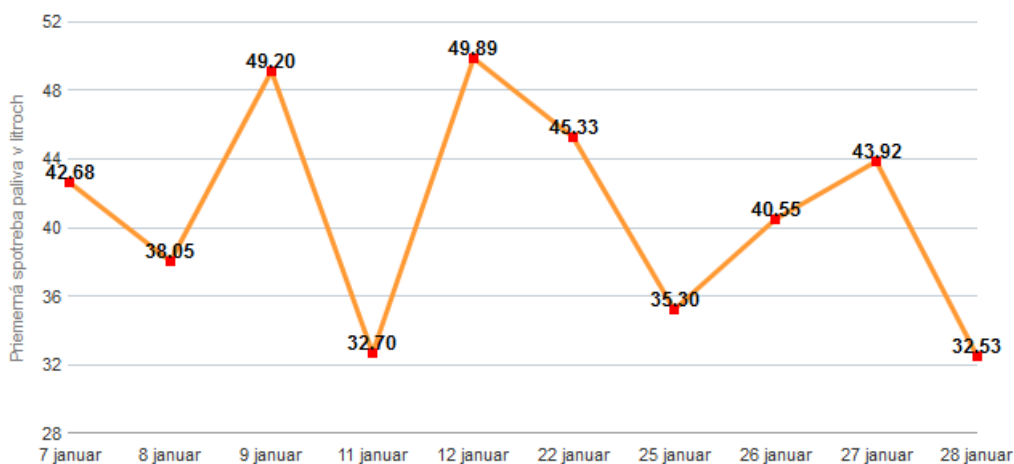
V ďalšej analýze (Obr. 5) sme sa rozhodli zamerať práve na tieto dve krajiny, ktoré sú najnavštevovanejšie. Chceli sme zistiť, akú spotrebu má Vodič\_G na Vozidlách\_B a D v týchto dvoch krajinách. Je zrejmé, že priemerná spotreba Vozidla\_G je v Nórsku o dosť vyššia ako v Nemecku.



Obr. 5 Spotreba paliva Vodiča\_G na vozidlách B a D v Nórsku a v Nemecku

V nasledujúcom rozšírení používateľského scenára č. 2 sme sa zamerali na priemernú spotrebu paliva Vodiča\_G na vozidlách B a D v Nórsku. Najprv sme pridali atribút mesiac a rok sme zvolili 2016. V roku 2016 malo Vozidlo\_B najvyššiu spotrebu 41,02 litra na 100 km. Vo februári bola jeho spotreba nižšia. Ďalej sme sa pozreli na Vozidlo\_D a jeho spotrebu v roku 2016. Jeho najvyššia spotreba bola v máji a to 37,48 litra na 100 km. Keďže najvyššia spotreba vyšla na Vozidle\_B a to v januári 2016, rozhodli sme sa pridať ešte atribút deň a zistiť, ktoré dni boli kritické pre spotrebu paliva v januári 2016. Zistili sme že to bol 9. január a 12. január

(Obr. 6). Je dosť možné, že túto spotrebu ovplyvnilo aj počasie v Nórsku, ktoré býva v zimných mesiacoch nepriaznivé.



Obr. 6 Vývoj priemernej spotreby paliva Vozidla\_B v januári 2016

Zisťovanie vyťaženia vodičov je dôležité, aby bola rovnomerne rozdelená práca, aby sa vodiči striedali v rovnomerných intervaloch a jazdili na rôznych trasách a aby ich spotreba bola čo najlepšia.

Používateľské scenáre vytvorené v nástroji OBIEE 12c sú jednoduché a ľahko pochopiteľné. Je možné vyberať si z rôznych atribútov, ktoré nás zaujímajú a aplikovať na tieto atribúty rôzne filtre. Na dáta sa v tomto prípade môžeme pozeráť z rôznych pohľadov. Neexistujú žiadne obmedzenia výberu dátumu alebo vozidla, či iných atribútov. Z dát je možné ďalej vytvárať analýzy a grafy. Tieto grafy a dáta k nim prislúchajúce je možné exportovať do PDF alebo do MS Excelu. Prostredie pre vytváranie analýz je prehľadné a výsledky sa zobrazujú veľmi rýchlo.

## V. ZÁVER

Vytvorené používateľské scenáre pomôžu pri sledovaní spotreby jednotlivých vozidiel, kde je možné vidieť, ktoré z vozidiel má najvyššiu spotrebu a prečo. Zaujímavým sa stáva aj sledovanie spotreby jednotlivých vodičov a aj ich vyťaženie v čase. Zistenia opísané v jednotlivých používateľských scenároch sú v porovnaní s už existujúcimi riešeniami zaoberajúcimi sa analýzou dát niečím novým, pretože žiadne z uvedených už existujúcich riešení nepoužíva BI na vizualizáciu dát.

V budúcnosti by bolo možné dané riešenie rozšíriť o ďalšie atribúty. Vytvoriť dátový model rozšírený o informácie o počasí, ktoré vo veľkej miere ovplyvňujú spotrebu paliva kamiónov. Ďalším atribútom, ktorý by bolo možné pridať je aktuálna dopravná situácia, ktorá taktiež ovplyvňuje priemernú spotrebu paliva.

## POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt "Centrum informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy" (kód ITMS:26220120020), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## LITERATÚRA

- [1] Van Der Lans, Ricky: Data Virtualization for Business Intelligence Systems: Revolutionizing Data Integration for Data Warehouses. United States of America: Morgan Kaufmann, 2012. 296 s. ISBN 978-0-12-394425-2.
- [2] Slanský, David – Pour, Jan – Novotný, Ota: Business Intelligence: Jak využit bohatství ve vašich datech. Praha: Grada Publishing, a. s., 2005. 256 s. ISBN 80-247-1094-3.
- [3] Ferreira, João – Almeida, José – Silva, Alberto: The Impact of Driving Styles on Fuel Consumption: A Data Warehouse and Data Mining based Discovery Process. In: IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2015
- [4] Vogetseder, Georg: Functional Analysis of Real World Truck Fuel Consumption Data. [online]. [s. a.]. [cit. 2017-09-03]. Dostupné na internete: <<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:238366/FULLTEXT01.pdf>>
- [5] Westerman, Paul: Data Warehousing: Using the Wal-Mart Model. United States of America: Academic Press, 2001. 297 s. ISBN 1-55860-684-X.
- [6] Muchová, M., Paralič, J.: Analýza dát za účelom zlepšenia konkrétneho firemného procesu logistickej firmy. In: WIKT&DaZ 2016: Proceedings from Conference. Bratislava: STU, (2016), pp. 299-304, ISBN 978-80-227-4619-9
- [7] Muchová, M.: Big data analysis in selected logistics process. In: SCYR 2016: Proceedings from Conference. Košice: TU, (2016), pp. 55-57. ISBN 978-80-553-2566-8



# Návrh algoritmu výberu voľného spektra s využitím teórie hier pre kognitívne MANET

<sup>1</sup>Ján PAPAJ, Alexandra HORNYÁKOVÁ

<sup>1</sup> Katedra Elektroniky a Multimediálnych Telekomunikácií, Fakulta Elektrotechniky a a Informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>1</sup>jan.papaj@tuke.sk

**Abstrakt** — Tento článok sa venuje aktuálnej problematike kognitívnych mobilných ad-hoc sietí (CR-MANET). V článku je predstavený navrhnutý algoritmus, ktorý umožní vybrať voľné komunikačné kanály pre sekundárnych používateľom. Kognitívne rádio (CR) je veľmi komplikovaná technológia, ktorá sa používa na riešenie problémov v bezdrôtových sieťach, ako je obmedzené dostupné spektrum a neefektívne využívanie spektra. Cieľom algoritmu zvýšiť efektívnosť využitia dostupného voľného spektra ako aj poskytnúť efektívny spôsob výberu vhodných komunikačných kanálov. Navrhnutý algoritmus bude testovaný v prostredí simulátora MATLAB.

**Keywords** — MANET, kognitívne MANET, snímanie spektra, teória hier.

## I. ÚVOD

Kognitívne Mobilné Ad-Hoc siete (CR-MANET) sú tvorené mobilnými terminálmi MANET sietí, ktoré využívajú kognitívne rádio (Cognitive Radio - CR). Meniace sa spektrum prostredia a dôležitosť ochrany prenosu primárnych používateľov predovšetkým rozlišujú klasické MANET siete od CR-MANET sietí. Komponenty CR-MANET môžu byť klasifikované do dvoch skupín. Ako prvá je *primárna sieť*, ktorá sa označuje ako existujúca sieť, kde primárni používatelia majú licenciu na komunikáciu v určitom pásme spektra. Ak by primárne siete mali podporu infraštruktúry, činnosť primárnych používateľov by bola riadená primárnymi základňovými stanicami. Druhú skupinu tvorí *sekundárna sieť*, ktorá nemá licenciu na prevádzku v požadovanom pásme. Používatelia kognitívneho rádia sú mobilní, čiže sú v pohybe, a môžu navzájom komunikovať viacsokovým spôsobom na licencovaných aj na nelicencovaných pásmach spektra. V CR-MANET sa kognitívne rádio používa na to, aby neoprávnení (sekundárni) používatelia mohli využívať neobsadené frekvenčné spektrum, ktoré je pridelené licencovaným (primárnym) používateľom príležitostným spôsobom [1].

Kognitívne rádio sa všeobecne považuje za progresívne sa vyvíjajúcu sa technológiu, ktorá rieši problém nedostatku spektra, ktorý je spôsobený súčasným nepružným pridelovaním frekvenčného spektra. Je schopné snímať svoje rádiové prostredie a prispôbuje prenos parametrov podľa výsledkov snímania, ktoré zlepšujú výkon kognitívneho rádiového systému a zabraňujú rušeniu s primárnymi používateľmi. V súčasnom období sa masívne nasadzuje v MANET. Technológia kognitívne rádio má významný vplyv na výkonnosť v bezdrôtových sieťach, najmä v sieti MANET. V CR-MANET sieťach sekundárni používatelia môžu spoločne snímať spektrum na odhalenie prítomnosti primárnych používateľov [2].

## II. SNÍMANIE SPEKTRA V CR-MANET

Snímanie spektra umožňuje používateľom využívať nevyužitú časť frekvenčného spektra. Existujú tri základné požiadavky na snímanie spektra [3]. *Prvá požiadavka* je, že používatelia bez licencie (sekundárni používatelia) môžu používať licencované frekvenčné spektrum, kým určité spektrum nie je obsadené licencovaným (primárnym) používateľom. Keď sa však primárny používateľ vráti do prevádzky, sekundárni používatelia musia okamžite opustiť spektrum, aby sa zabránilo rušeniu hlavných (primárnych) používateľov. Táto skutočnosť je potrebná pre monitorovanie frekvenčného spektra, či je obsadené primárnymi používateľmi, alebo nie. Druhou základnou požiadavkou je zabrániť rušeniu potenciálnych primárnych používateľov v ich blízkosti. Siete s primárnymi používateľmi nemajú žiadnu požiadavku zmeniť svoju infraštruktúru pre zdieľanie spektra s kognitívnymi rádiami. Preto je *tretia požiadavka*, aby sekundárni používatelia mohli nezávisle odhaliť prítomnosť primárnych používateľov [3].

Pri zohľadnení týchto troch požiadaviek môže byť takéto snímanie spektra vykonávané nekooperatívne (individuálne), to znamená, že každý sekundárny používateľ vykonáva rozpoznávanie a sám rozhoduje. Zlepšenie snímania frekvenčného spektra sa dá dosiahnuť spoluprácou sekundárnych používateľov, čo znamená, že skupina sekundárnych používateľov by spolupracovala na snímaní spektra. Výsledkom je to, že prostredníctvom spolupráce by sa výrazne zvýšil prístup sekundárnych používateľov k spektru. Na snímanie spektra sa vyžadujú nasledovné funkcie [4]:

- *Detekcia primárnych používateľov* – Používateľ kognitívneho rádia pozoruje a analyzuje svoje miestne rádiové prostredie. Na základe pozorovaní svojej polohy a jeho susedov, používateľ kognitívneho rádia určuje prítomnosť primárnych používateľov a podľa toho identifikuje dostupnosť spektra.
- *Kooperácia (spolupráca)* – Používatelia si vymenia medzi sebou pozorované informácie, aby sa zlepšila presnosť snímania.
- *Kontrola snímania* – Táto funkcia umožňuje každému používateľovi vykonávať svoje snímacie operácie prispôbené dynamickému rádiovému prostrediu.

#### A. Význam snímania spektra pre CR-MANET

Hlavným cieľom CR je, aby bolo voľné spektrum použiteľné pre sekundárneho používateľa bez toho, aby došlo k rušeniu primárneho používateľa. To možno vykonať v prípade, že sekundárni používatelia snímajú prenos primárnych používateľov pred vlastným prenosom. Sekundárni používatelia zisťujú, či existuje nejaký aktívny prijímač v ich okolí. Ak sa zistí prítomnosť aktívneho primárneho používateľa, potom sekundárny používateľ nemôže prenášať signál, pretože by rušil primárneho používateľa [3].

Aby sa zabránilo rušeniu primárneho používateľa, je nutné neustále kontrolovať prítomnosť akéhokoľvek aktívneho primárneho prijímača. Sekundárni používatelia musia priebežne kontrolovať činnosť primárnych používateľov, aby našli biele miesta v spektre, tzv. diery. Diery v spektre sú definované ako frekvenčné pásma, ktoré môžu byť použité sekundárnym používateľom bez toho, aby dochádzalo k rušeniu primárnych používateľov. Tento proces hľadania dier v spektre sa nazýva snímanie spektra. Kognitívne rádio môže byť vybavené rôznymi typmi kognitívnych schopností, to znamená, že kognitívne rádio môže snímať stav ON/OFF primárneho používateľa alebo môže merať výkonovú úroveň rušenia na hlavnom prijímači. Vzhľadom na to, kognitívne rádio môže byť nakonfigurované s rôznymi kognitívnymi schopnosťami a môže pristupovať k rádiovému spektru rôznymi spôsobmi. Hlavná myšlienka snímania spektra sa skladá z dvoch krokov. V prvom rade, každý sekundárny používateľ musí splniť svoju individuálnu detekciu pre snímanie spektra. Potom budú sekundárni používatelia posielat' svoje snímacie bity k základňovej stanici, ktorá s použitím primeraných rozhodovacích pravidiel môže kombinovaním bitov od rôznych sekundárnych používateľov vytvoriť lepšie rozhodnutie o prítomnosti alebo neprítomnosti primárneho používateľa. Aby bolo možné dosiahnuť vysokú mieru využitia frekvenčného spektra a zároveň sa vyhnúť rušeniu, snímanie frekvenčného spektra musí poskytovať vysokú presnosť detekcie [5], [6].

#### B. Využitie teórie hier pri snímaní spektra pre CR-MANET

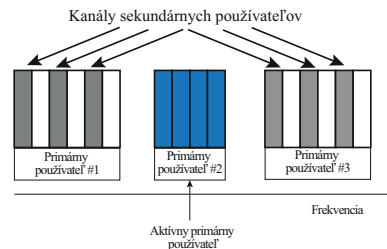
Teória hier v sieti CR-MANET sa využíva na podporu spolupráce medzi uzlami. V súčasnosti sa teória hier môže používať aj pri snahe o zlepšenie využitia rádiového frekvenčného spektra. Napríklad máme sieť, kde sekundárni používatelia sledujú stratégie prenosu iných používateľov. Sekundárni používatelia kvôli tomu bojujú medzi sebou, aby sa dostali k spektru, ktoré zdieľajú primárni používatelia [1].

Sieť CR-MANET tvoria primárni a sekundárni používatelia. Licencované pásmo je obsadené primárnymi používateľmi, ale nie je úplne využívané, čo znamená, že v licenčnom systéme zostali diery. V kognitívnom rádiovom systéme sekundárni používatelia hľadajú tieto diery, aby ich mohli príležitostne používať. Pri tomto procese primárni používatelia majú výhodu, lebo oni zdieľajú frekvenčné spektrum so sekundárnymi používateľmi, a tak zdieľaním spektra získajú príjem [7].

Teória hier umožňuje analyzovať protokoly tak, aby sa určilo, či správanie CR bude stabilné [7]. Vo všeobecnosti platí, že primárni používatelia sú držiteľmi licencie a sekundárni používatelia môžu používať frekvenčné pásmo, keď primárni používatelia nie sú aktívni. Ak sa však primárni používatelia vrátia do prevádzky, sekundárni používatelia musia ihneď opustiť

frekvenčné spektrum. Príchod primárneho používateľa spôsobí, že sekundárni používatelia stratia frekvenčné pásmo, a preto sa údržba spojenia stane kľúčovým problémom.

Združovanie spektra, znázornené na Obr. 1, je jedným z riešení, kde je celá skupina rozdelená na veľké množstvo subkanálov tak, že ležia v rôznych pásmach. Toto riešenie minimalizuje šancu straty celého kanála pri príchode primárneho používateľa, pretože žiadny primárny používateľ nemôže spôsobiť úplné rozdelenie spektra sekundárneho používateľa [1].



Obr. 1 Príklad združovania spektra pre CR – MANET [7].

Vo vyššie uvedenom príklade bola teória hier použitá na modelovanie využitia priestorov a dier, ktoré boli nájdené v licencovanom pásme konkurenčným spôsobom medzi viacerými sekundárnymi používateľmi. Predpokladá sa, že vyhľadávanie a odhalenie voľných miest v licencovanom spektre sa uskutočňuje implementáciou metód snímania spektra. Potom sekundárni používatelia budú súťažiť s primárnymi používateľmi o zdieľanie spektra. Zdieľanie spektra závisí aj od výpočtu, ktorý realizuje správca primárneho používateľa. To tiež závisí od nasledujúcich podmienok [7]:

- požadovanej šírky pásma (v MHz),
- dopytu v rámci služieb,
- trvania dohody,
- príležitosti pre rast služieb v rámci služieb,
- nákladov na inštaláciu a poskytovanie služieb.

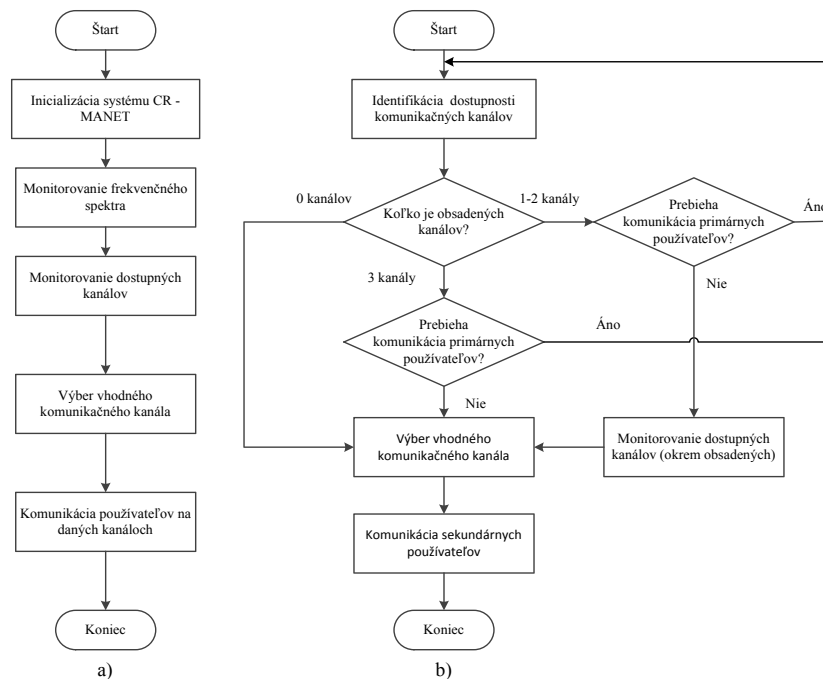
Náklady môžeme chápať ako jednotky s piatimi kategóriami. Každý sekundárny používateľ má jednu z týchto piatich kategórií a bude súťažiť s ostatnými sekundárnymi používateľmi podľa toho, koľko jednotiek získal. Prvou prioritou bude sekundárny používateľ, ktorý má maximálny počet jednotiek a priradí sa k prvej kategórii a druhá priorita bude poskytnutá sekundárnemu používateľovi, ktorý zhromaždil maximálne jednotky z tých, ktoré ešte ostali v hre [1], [7].

Teória hier ponúka určité výhody ako nástroj analyzovať distribuované algoritmy a protokoly pre siete CR-MANET. Výhody môžeme klasifikovať do troch bodov [1], [2], [8]:

- *Analýza distribuovaných systémov* – teória hry nám umožňuje preskúmať existenciu, jedinečnosť a konvergenciu na stabilný prevádzkový bod, keď uzly v sieti vykonávajú nezávislé činnosti. Preto slúži ako silný nástroj pre dôkladnú analýzu distribuovaných protokolov.
- *Optimalizácia medzivrstiev* – Jednotlivé uzly robia v hrách rozhodnutia v určitej vrstve s cieľom optimalizovať výkonnosť v niektorých ďalších vrstvách. S vhodnou formuláciou priestoru môže analýza teórie hier poskytnúť prehľad o prístupoch na optimalizáciu jednotlivých medzivrstiev.
- *Navrhovanie motivačných schém* – Návrh mechanizmu je oblasťou teórie hier, ktorá sa využíva obzvlášť pri navrhovaní motivačných schém pri sieti CR-MANET.

### III. NÁVRH ALGORITMU SNÍMANIA VOENÝCH KOMUNIKAČNÝCH KANÁLOV V CR-MANET

Navrhnutý algoritmus vychádza zo základných princípov snímania spektra v CR-MANET. Algoritmus monitoruje obsadené kanály a dostupnosť voľných kanálov pre komunikáciu používateľov (Obr. 2a) [1].



Obr. 2 Navrhnutý algoritmus pre CR-MANET: a) snímanie spektra, b) výber vhodného komunikačného algoritmu [1].

#### A. Snímanie voľných komunikačných kanálov v CR-MANET

Pri výbere voľného kanála sa zohľadňuje skutočnosť, koľko kanálov je obsadených. Algoritmus je navrhnutý tak, aby nedošlo k rušeniu medzi jednotlivými používateľmi, ktorí komunikujú. Z pohľadu bezpečnosti sa vyberajú len tie kanály, na ktorých neprebíha komunikácia. Na Obr. 2a je zobrazený princíp činnosti snímania spektra v CR-MANET. V prvom kroku prebieha inicializácia systému. Ďalej nasleduje sledovanie frekvenčného spektra a monitorovanie dostupných kanálov. Navrhnutý algoritmus zisťuje, ktoré kanály sú obsadené, ktoré sú voľné a koľko používateľov komunikuje. Ako posledný proces je bezpečný výber voľného komunikačného kanála. Tu sa zohľadňuje koľko kanálov je obsadených a či sú obsadené primárnymi alebo sekundárnymi používateľmi. Takisto sa sledujú obsadené kanály a z pohľadu bezpečnosti sa vyberajú len tie, na ktorých neprebíha komunikácia. Ďalej nasleduje už len komunikácia daného používateľa.

```

30 % Náhodný výber kanála z celkového počtu kanálov
31 %okrem obsadeného kanála s hodnotou k, čo určuje vzdialenosť medzi kanálmi
32 while (vyberkanala >= obsadenykanal-k && vyberkanala <= obsadenykanal+k)
33     vyberkanala = randsample(n,1);
34 end
35 pocitadlo(length(pocitadlo)+1) = vyberkanala; % zápis vybraného kanálu do počítadla
36 disp('Prebieha výber kanála');
37 str = sprintf('Vybraný kanál:%d', vyberkanala);
38 disp(str);
39 disp('Na vybranom kanáli sa môže komunikovať');
40
41 % Náhodný výber kanála na komunikáciu, ak je počet obsadených kanálov rovný 2
42 elseif obsadenekanal == 2;
43     disp('Počet voľných kanálov na komunikáciu: 1');
44     prvyoobsadenykanal = randsample(n,1); % náhodný výber prvého obsadeného kanála
45     % z celkového počtu kanálov
46     druhyobsadenykanal = randsample(n,1); % náhodný výber druhého obsadeného kanála
    
```

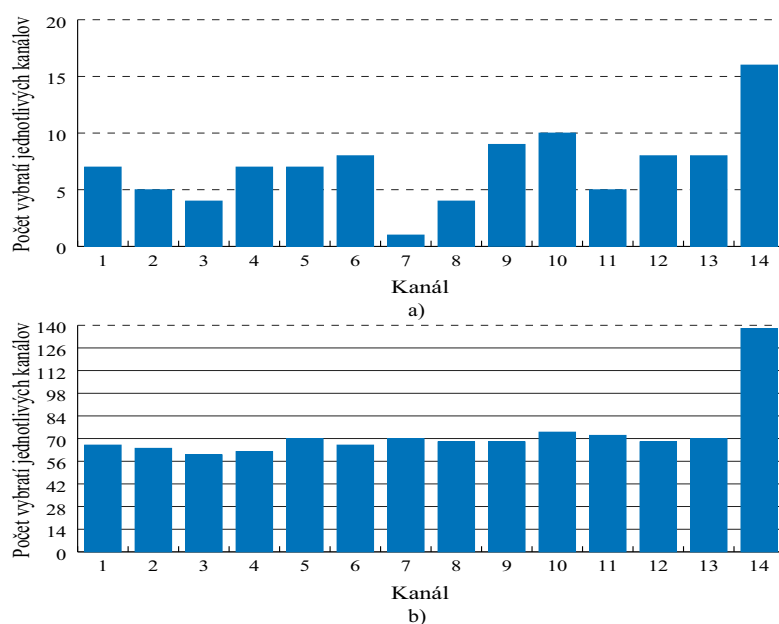
Obr. 3 Ukážka zdrojového kódu MATLAB.

#### B. Algoritmus pre náhodný výber kanála v sieti CR-MANET

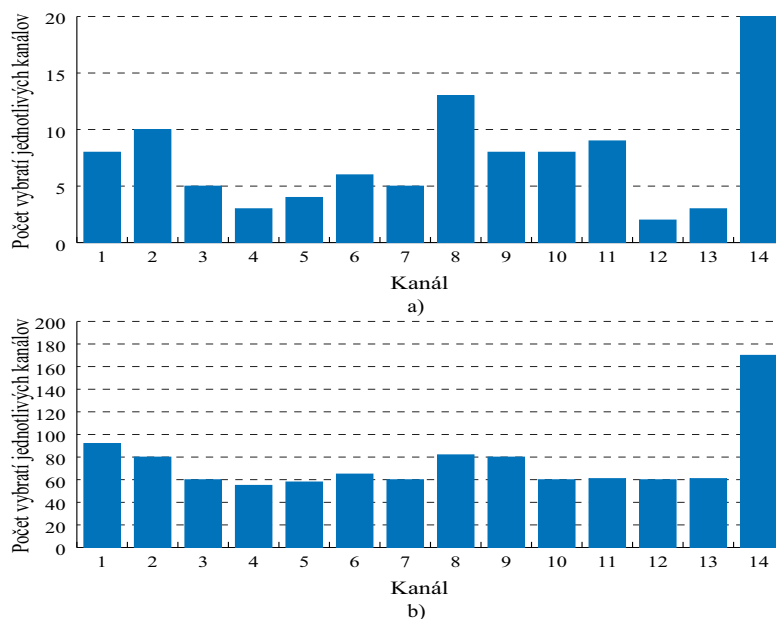
Pri výbere kanála na komunikáciu v sieti CR-MANET sa musí brať ohľad na obsadené a dostupné kanály. Na Obr. 2b je znázornený postup výberu kanála pri jednotlivých prípadoch obsadených kanálov. Tento proces prebehne, ak sa v sieti zistí používateľ, ktorý chce komunikovať. Prvým krokom je vstup parametrov, ako je počet kanálov, maximálny počet

dostupných kanálov a náhodný počet dostupných kanálov. V tomto prípade je maximálny počet dostupných kanálov tri, keďže na Wi-Fi sieti môže prebiehať komunikácia naraz len na troch kanáloch a náhodný počet dostupných kanálov môže nadobudnúť hodnoty od 0 do 3. Druhým krokom je identifikácia dostupnosti kanálov. V tomto kroku sa zisťuje, na ktorých kanáloch prebieha komunikácia a ktoré kanály sú voľné. Podľa toho sa náhodne vypočítava, koľko kanálov je obsadených. Ak počet obsadených kanálov je rovný 0, tak všetky kanály v sieti sú dostupné pre používateľov, ktorí chcú komunikovať. Náhodne sa vyberie jeden kanál z celkového počtu kanálov. Ak tento proces prebehol, používateľ môže začať komunikovať na vybranom kanáli [1].

Ak počet obsadených kanálov sa rovná 1 alebo 2, tak používatelia čakajúci na komunikáciu majú k dispozícii 2 alebo len 1 voľný kanál. Nasleduje proces, kde sa náhodne zistí, ktoré kanály sú obsadené. V ďalšom kroku sa vyberá kanál, ktorý nie je obsadený používateľom. Pri výbere kanála na komunikáciu sa zohľadňujú obsadené kanály, takže nemôže sa vybrať kanál, na ktorom prebieha komunikácia používateľa. Na vybranom kanáli používateľ môže začať komunikovať.



Obr. 4 Histogram priemerného počtu vybraných komunikačných kanálov vzdialenosťou s odstupom dvoch komunikačných kanálov pre: a) 100 a b) 1000 opakovaní výberu.



Obr. 5 Histogram priemerného počtu vybraných komunikačných kanálov vzdialenosťou s odstupom troch komunikačných kanálov pre: a) 100 a b) 1000 opakovaní výberu.

Ak všetky dostupné kanály v sieti sú obsadené, musí sa zistiť, akí používatelia na nich komunikujú. Ak na obsadených kanáloch prebieha komunikácia primárnych používateľov, iný používateľ musí čakať, kým primárni používatelia nedokončia komunikáciu. Keďže primárni používatelia majú prednosť pred ostatnými používateľmi, nemôže sa prerušiť ich komunikácia. Tento krok sa bude opakovať dovtedy, kým aspoň jeden z primárnych používateľov nedokončí komunikáciu. Ak na obsadených kanáloch komunikujú sekundárni používatelia, okamžite musia ukončiť komunikáciu na daných kanáloch. Ďalej prebieha náhodný výber kanála, na ktorom používateľ môže začať komunikovať.

### C. Dosiiahnuté výsledky

Cieľom implementácie navrhnutého algoritmu je evaluácia daného algoritmu v prostredí simulačného nástroja MATLAB (Obr. 3). Jednotlivé simulácie boli opakované 100 a 1000 krát. Jednotlivé simulácie boli vykonané štandard IEEE802.11, ktorý poskytuje 14 kanálov. Tieto hodnoty boli zapisované do matice od 0 po 13. Výsledky simulácií sú zobrazené pomocou histogramu, kde sa na x-ovej osi zobrazujú kanály a na y-ovej osi sú znázornené, koľkokrát boli jednotlivé kanály vybrané na komunikáciu pri danom počte opakovaní.

## IV. ZÁVER

Tento článok je zameraný na problematiku snímania spektra v CR-MANET. Navrhnutý algoritmus pre bezpečný výber kanála je navrhnutý na najčastejšie využívané rozhranie CR - MANET a to IEEE802.11, známe aj pod označením Wi-Fi [1]. Algoritmus umožňuje náhodný výber kanála z celkového počtu kanálov zohľadňujúc potreby primárnych a sekundárnych používateľov, ako aj koľko komunikačných kanálov je voľných resp. obsadených. Takisto sa berie do úvahy, akí používatelia komunikujú na obsadených kanáloch. Z pohľadu bezpečnosti sa vyberá len ten kanál, na ktorom neprebíha komunikácia. Navrhovaný algoritmus bol implementovaný do simulačného prostredia Matlab. Výsledky simulácií sú zobrazené pomocou histogramov, ktoré znázorňujú koľkokrát boli jednotlivé kanály vybrané. Na základe simulácií môžeme konštatovať, že sa najčastejšie vybral 13. kanál a najmenej vybraný kanál sa stále menil. Keďže proces vyberania kanála bol náhodný, výber kanála sa nedá ovplyvniť žiadnym spôsobom. Nasledujúca práca na danom algoritme bude súvisieť s implementáciou daného algoritmu do prostredia OPNET modeler, kde algoritmus bude umožňovať výber voľných komunikačných kanálov pri simuláciách CR - MANET.

## POĎAKOVANIE

Táto práca vznikla v spolupráci Ministerstva školstva Slovenskej republiky pod výskumom VEGA 1/0075/15 a podpory COST akcie CA15127 ("Resilient communication services protecting enduser applications from disaster-based failures – RECODIS").

## REFERENCES

- [1] Alexandra Hornyáková, Smerovacie algoritmy s bezpečnosťou v kognitívnych MANET, bakalárska práca, TU Košice, 2017,
- [2] K. J. Ray Liu, B. Wang, "Cognitive Radio Networking and Security: A Game-Theoretic View (1st ed.)". Cambridge University Press, New York, NY, USA, 2010.
- [3] F. R. Yu, "Cognitive Radio Mobile Ad Hoc Networks". Springer Publishing Company, Incorporated, 2011.
- [4] Y. Lu, A. Duel-Hallen, "Channel-Aware Spectrum Sensing and Access for Mobile Cognitive Radio Ad Hoc Networks," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 65, no. 4, pp. 2471-2480, 2016.
- [5] I. F. Akyildiz, W-Y. Lee, K. R. Chowdhury, "CRAHNS: Cognitive radio ad hoc networks". In *Ad Hoc Netw.* Vol.7, No.5, pp. 810-836, 2009.
- [6] M. Z. Alom, T. K. Godder, M. N. Morshed, "A survey of spectrum sensing techniques in Cognitive Radio network", in *International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE)*, pp.161-164, 2015.
- [7] D. Niyato, E. Hossain, "Competitive spectrum sharing in cognitive radio networks: a dynamic game approach," in *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 7, No. 7, pp. 2651-2660, 2008.
- [8] H. Amraoui, A. Habbani, A. Hajami, "CCS: A Correct Cooperation Strategy based on game theory for MANETS," in *IEEE/ACS 11th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)*, pp. 326-332, 2015.

# Case study for storm alerts in a smarthome environment

<sup>1</sup>Vladimír GAŠPAR, <sup>2</sup>Filip FAŠKO

<sup>1,2</sup> Department of Cybernetics and Artificial Intelligence, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>vladimir.gaspar@tuke.sk, <sup>2</sup>filip.fasko@student.tuke.sk

**Abstract** — This paper presents a case study with partial implementation of storm alert system for preventing material damage to a household. It expects that the user's premises provide a smart home system that is able to control circuit breakers. In case a severe event occurs, the user is informed by a notification on his smartphone and can interact with the smart home system. By turning off the circuit breakers, the user can provide a secondary level of safety precautions during a severe thunderstorm. To substitute for real equipment, we created a sample smart home emulator to test the reliability of the system. The work presented in this paper is a result of a bachelor's thesis.

**Keywords** — storm alert, smart home, mobile application

## I. INTRODUCTION

Rise in the internet of things (IoT) platforms field creates a lot of possibilities to engage in designing smart spaces and environment aware systems. In case of severe natural events that are monitored in real-time (thunderstorms, tornados, hurricanes, volcano eruptions, tsunami, earthquakes, etc.), the IoT devices may be used to interact with the target system (e.g. smart home) and take specific precautions to prevent or minimize the damage of property, injuries or loss of lives [1]. Early warning systems are currently independent systems usually created on a scale of municipalities or states. Their main aim is to reach every person by different media. The Tsunami early warning system in Japan or danger alert system in western European countries may be used as an example. These systems engage people mostly using the SMS service [3].

In case of less severe events that usually do not pose a life-threatening risk (e.g. thunderstorms) and only the property could hypothetically be at stake, there is no need for an early warning. However, people tend to carry out precautions to prevent damage of sensitive electrical devices and electronics. The simplest precautions are to either use a surge protection, lightning arrester or pull the electrical plug [2]. Although none of these actions are hundred percent reliable and induced electrical current may also do some damage, in most cases the mentioned measures are enough to safe the majority of devices. A second level of protection may be carried out on the electrical system of the house. Every household should have circuit breakers installed as a secondary level of surge protection. In case we are able to control them remotely, it is possible to switch them on and off automatically or when necessary.

This means, that by creating a simple mobile application, it is possible to manage the electrical circuits of a house from work, a vacation, or other remote locations. However, to be able to restore the state of the circuit breaker (turn it on again) the device that is responsible for its switching has to stay plugged in and online e.g. with a UPS. In our case, we expect a Raspberry PI as such a device with an internet connection and web services running. However, due to missing equipment, we created a smart home emulator to test our application.

## II. POSSIBLE SOURCES OF DATA

We can logically divide our data sources into two specific groups:

- Current weather sources – meteorological events in real time or their actualization in short time periods. They provide a view on the current weather situation in a specific location. The sources from which we can obtain such information use satellites or a large number of meteorological stations. They operate in cooperation with institutions like the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) or the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), flight meteorology, etc. Such sources are ideal for

developing a thunderstorm warning application.

- Weather forecasts – are not suitable for carrying out immediate actions. They provide information predicted by numerical meteorological models and usually contain information like expected precipitation, atmospheric pressure, temperature, wind, etc.

The way, how the weather information providers present the data is also essential for purpose of creating a storm alert application. Several sources use either satellite images, graphs or event text descriptions [7] [8]. These sources are hard to map to specific locations and are thus rendered obsolete. The geo-localized information in their raw form are however a perfect data source. Such data sources do not provide their data for free, as for they may be used easily as a source of revenue. Usually, providers of live meteorological data are non-profit organizations or international organizations funded by NASA, USA federal government, the European Union, etc. Some are however created as a volunteer activity. For example, the Blitzortung website is solely created, maintained by volunteers that possess a VLF (very low frequency) devices (see Fig. 1) for lightning detection and thus share valuable information [6]. In order to have access to this data source, one needs to be a volunteer, buy the VLF receiver and have it active.



Fig. 1 VLF receiver system of Blitzortung.org [5]

### III. ARCHITECTURE

In order to be able to provide real-time warnings, we propose the following architecture. The server webservices are both an endpoint for the mobile application and also carry out actions on the Raspberry PI (in our case the smart home emulator) to switch off /on the circuit breakers. The server also provides a notification service to the mobile application and collects real-time information from the data provider. Depending on the data provider either socket connection or HTTP pulling may be used to get actual data. The database is used to store information about objects and historical data about lightning-strikes.

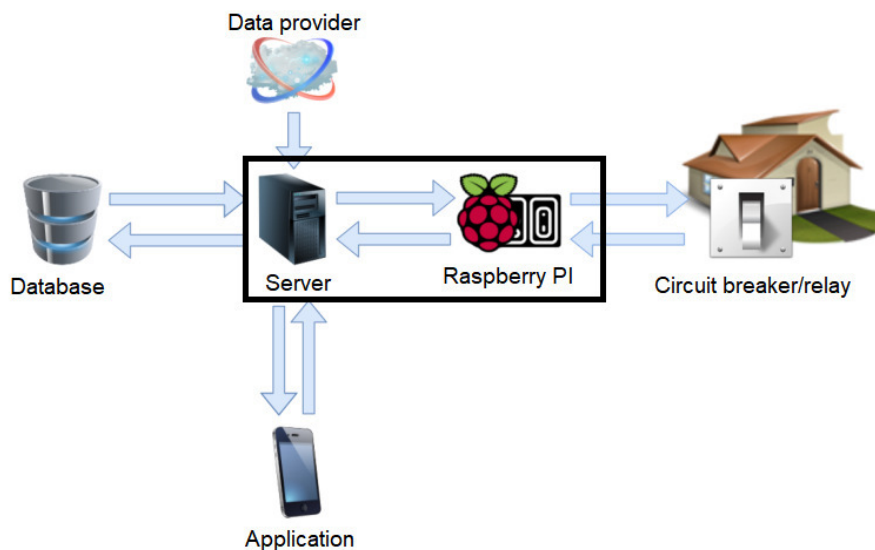


Fig. 2 Architecture of the proposed solution.



#### IV. IMPLEMENTATION

We implemented a web server with REST API that provides endpoints for our mobile application. The server has a set of mock information about lightning strikes because we could not use a direct connection to blizortung, as for we are not volunteer participants in the project.

The application, which we created, allows the user to register and login with a proprietary user account. For safety reasons, social network services were not implemented.

After registration and logging in, the user has to create a new object that represents a specific place, by entering its name, description, GPS coordinates, and other meta information. Users can also add other objects and create a set of circuitbreaker switches, that are wired up by unique IDs on both sides (the REST API database and the Raspberry PI/emulator connection).

The REST service provides a JSON structured objects that are used as a primary source of data for the application. The application does not store any data locally besides the cached data. When a lightning strike occurs, a notification appears on the user's smartphone. The smartphone has to be connected to the Internet for notifications to work. When tapping on a notification the lightning map is shown. By pressing a back key, the user can open a specific object and interact with the circuit breakers.

The information about lightning strikes are only shown 2 hours in past at maximum. This means that obsolete or outdated data are not presented on the screen. In settings, it is possible to change this value in an interval between 30 minutes and 5 hours. Due to possible large number of lightning strike events during a lightning storm, the default value has been set to 2 to provide actual, yet clear information about the latest events. The second possible constraint is the diameter of events around the object's location. As it was already written, upon creating a new object, it's GPS coordinates have to be entered. With this information, we can create a circle of a specific diameter around the object and only show information relevant to the specific location. This property can also be changed in settings from 1-100 km. A default value has been set to 30 km for the same reason as the event occurrence time.

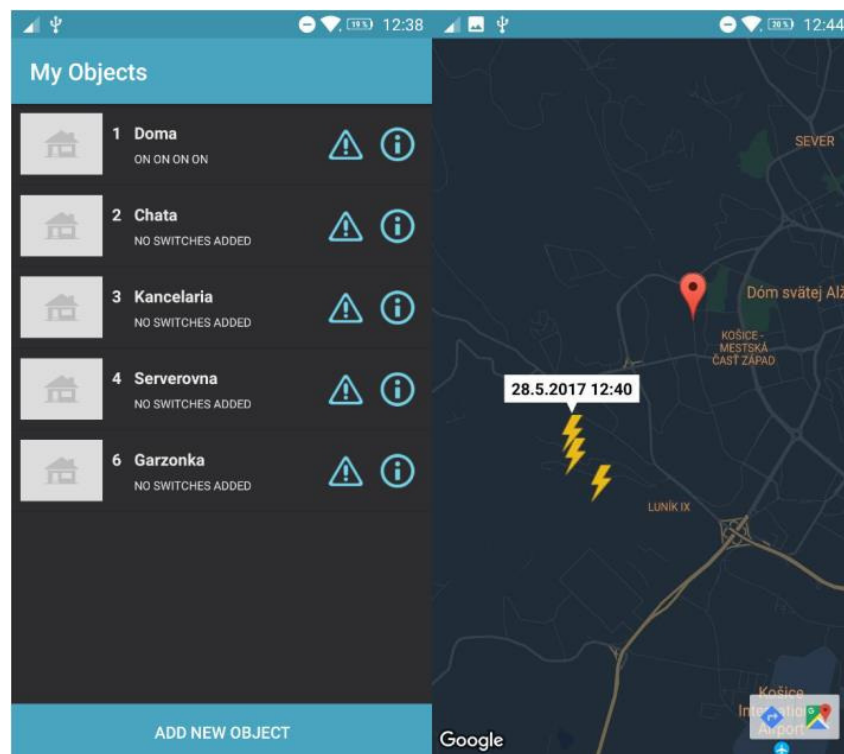


Fig. 3 View on objects and lightning strikes near a selected object.

#### V. TESTING

In order to test the application and the created framework, we also created a web site that emulates a set of circuit breakers of a smart home. The emulator provides REST API endpoints to get information about names, descriptions, locations and state of circuit breakers in the smart home. The REST API also provides a possibility to switch on/off a chosen circuit breaker after validating the specific user, his account and rights to access the system. The backend listens to changes of the circuit breaker switches and displays their state in the emulator by turning on/off the lights and the specific circuit breaker. The created smart home emulator is presented in Fig. 4.



Fig. 4 Smarthome emulator.

## VI. CONCLUSION

In this paper, we proposed an architecture for a storm alert system in a smart home. Although the usage of raspberry pi has not been implemented due to missing equipment, we created an emulator of smart home and substituted for missing equipment. We also created a mobile application that provides information about objects of the user, as well as information about lightning strikes. It also offers the possibility to turn off and on specified circuit breakers in the house. It is possible to wire up any data source that can provide data either by a socket connection or by HTTP pulling. In the future, we expect to address mentioned issues and continue the implementation of the architecture with a Raspberry PI. We also expect to use a different source with non-real-time data and provide at least a situational warning for users. Enhancement of the mobile application and the server side API are also among the required optimization changes for the future.

## ACKNOWLEDGMENT

This publication arose thanks to the support of the Operational Programme Research and development for the project "Centre of Information and Communication Technologies for Knowledge Systems" (ITMS code 26220120020), co-financed by the European Regional Development Fund (50%). This publication was also supported by KEGA 005TUKE-4/2017 Introduction of practical education of mobile technologies through the development of applications for smart devices (50%).

## REFERENCES

- [1] Korzun, D.G., Balandin, S.I., Gurtov, A.V.: Deployment of smart spaces in internet of things: overview of the design challenges. 2013, *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networking*. Lecture Notes in Computer Science, vol 8121. Springer, Berlin, Heidelberg ISBN 978-3-642-40316-3.
- [2] Witzke, R. L., and T. J. Bliss. "Surge protection of cable-connected equipment." *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers* 69.1 (1950): 527-542.
- [3] Cyranoski, D.: Japan faces up to failure of its earthquake preparations: systems for forecasting, early warning and tsunami protection all fell short on 11 March. In: *Nature*, vol. 471, no. 7340, 2011, p. 556+. Academic OneFile, Accessed 13 June 2017
- [4] About weather stations at Windytv [Online]. [cit. 2017-05-21] <<https://community.windy.com/topic/3341/about-weather-stations-at-windytv>>.
- [5] Project Description [Online]. [cit. 2017-05-21] <[http://en.blitzortung.org/cover\\_your\\_area.php](http://en.blitzortung.org/cover_your_area.php)>.
- [6] Blitzortung.org CC BY-SA 4.0 / Lightning data by Blitzortung.org and contributors [http://en.blitzortung.org/live\\_lightning\\_maps.php](http://en.blitzortung.org/live_lightning_maps.php)
- [7] OpenWeatherMap. Weather model [Online]. [cit. 2017-05-10] <<https://openweathermap.org/technology>>
- [8] Slovenský hydrometeorologický ústav. Predpovede modelu ALADIN [Online]. [cit. 2017-05-10] <<http://www.shmu.sk/sk/?page=472>>.

# Využitie YOCTO Linuxu pre vstavané aplikácie na tvorbu sieťového prekladu paketov

<sup>1</sup>Martin HASIN, <sup>2</sup>Miloš Drutarovský

<sup>1</sup>Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>2</sup>Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>martin.hasin@tuke.sk, <sup>2</sup>milos.drutarovsky@tuke.sk

**Abstract** – Tento článok je zameraný na opis tvorby obrazu operačného systému YOCTO Linux, ktorý je určený pre vstavané aplikácie. Tento operačný systém je možné využiť aj na mikropočítačoch Raspberry Pi a to vo všetkých vydaných hardvérových verziách Raspberry Pi. Článok opisuje implementáciu nízko-príkonového vstavaného zariadenia, ktoré je zamerané na preklad sieťového vysielania na iný protokol, napríklad RTSP. Tento preklad je realizovaný pomocou programu, ktorý je vytvorený v programovacom jazyku C a beží pod minimalizovaným operačným systémom na báze YOCTO Linuxu. V článku sú tiež prezentované výsledky generovania YOCTO Linux obrazu v prostredí CLOUD s cieľom znížiť dobu generovania počas vývoja a testovania.

**Keywords** – YOCTO, RTSP, Raspberry Pi, PROXY

## I. ÚVOD

Pri stavbe vstavaných aplikácií s použitím mikropočítača Raspberry Pi [1] je potrebné zvoliť operačný systém vhodný pre túto platformu. Pri použití vstavaných aplikácií je možnosť zvoliť operačný systém YOCTO Linux [2], ktorý môžeme nastaviť podľa potreby, prípadne odobrať/pridať programy podľa našej potreby. Úlohou tohto Linuxu je vytvorenie stabilnej verzie obrazu operačného systému YOCTO, ktorá spĺňa určité predpoklady. Medzi dôležitejšie predpoklady patrí plnohodnotná funkčnosť operačného systému a aplikácií potrebných na chod daného vstavaného zariadenia. Ďalšia možnosť je vytvorenie čo najmenšieho obrazu, ktorý nebude obsahovať žiadne zbytočné funkcionality, ktoré môžu spôsobiť zlyhanie daného operačného systému.

Aplikácia zabezpečujúca požadovaný sieťový preklad je napísaná v programovacom jazyku C s využitím štandardných knižníc. Táto aplikácia zabezpečuje preklad multicast [3] paketov, vysielaných v danej sieti na iný protokol, konkrétne RTSP [4]. Tento preklad prebieha prepočtami, ktoré sú realizované vo viac-jadrovom procesore Raspberry Pi s nízko-príkonovým jadrom ARM.

## II. OPERAČNÝ SYSTÉM YOCTO LINUX

Projekt operačného systému YOCTO [2] vznikol z dôvodu potreby optimalizovať operačný systém Linux pre tvorbu vstavaných aplikácií. YOCTO Linux je možné implementovať aj pre zvolený mikropočítač Raspberry Pi. Projekt obsahuje nástroje, ktoré sú potrebné na nastavenie a tvorbu optimálneho obrazu YOCTO Linuxu pre nami zvolenú verziu platformy Raspberry Pi. YOCTO Linux je upravená verzia jadra operačného systému Linux upraveného pre potreby vstavaných aplikácií a s implementovanou podporou procesorov založených na ARM architektúre.

Pri vývoji operačného systému YOCTO dochádza k vydávaniu revízií projektu. Najnovšia vydaná revízia 2.3 má kódové označenie Pyro. Táto revízia bola vydaná v roku 2017, čiže obsahuje najnovšie balíky pre tento operačný systém.

### III. TVORBA YOCTO LINUXU

Vytvorenie obrazu operačného systému YOCTO Linux spočíva v spustení nástrojov, ktoré zabezpečia vytvorenie a nastavenie obrazu podľa prednastavených parametrov. Tvorbu tohto projektu je potrebné vykonávať na Linuxových platformách, ktoré musia byť podporované pre tento vývoj. Medzi podporované operačné systémy patrí: UBUNTU, DEBIAN, FEDORA, OpenSUSE, CentOS.

Pre správne vykonanie kompilácie je nutné mať nainštalované v danom operačnom systéme potrebné nástroje, ktoré sú dôležité pri tvorbe obrazu YOCTO Linuxu.

#### A. Optimalizácia YOCTO Linuxu

Proces tvorby môžeme rozdeliť na niekoľko krokov. Prvý krok je nastavenie repozitárov s danými balíkmi, ktoré je nutné implementovať do obrazu operačného systému YOCTO. Ďalší krok je optimalizácia tohto operačného systému. Najdôležitejšie nastavenia ktoré sú potrebné pri procese tvorby sú uložené v konfiguračnom súbore „local.conf“ [5]. V tomto súbore je nevyhnutné uviesť najdôležitejší parameter, ktorým je platforma pre ktorú bude tento obraz generovaný. Medzi podporované verzie mikropočítača Raspberry Pi patrí: Raspberry Pi 1, Raspberry Pi 2 [6], Raspberry Pi 3 [7]. Táto možnosť sa nastavuje zmenením premennej „MACHINE ??= "raspberrypi““ kde je potrebné nastaviť možnosť:

- „MACHINE ??= "raspberrypi““ táto možnosť zabezpečí pridanie podpory pre platformu Raspberry Pi 1,
- „MACHINE ??= "raspberrypi2““ táto možnosť zabezpečí pridanie podpory pre platformu Raspberry Pi 2,
- „MACHINE ??= "raspberrypi3““ táto možnosť zabezpečí pridanie podpory pre platformu Raspberry Pi 3.

Pre správnu funkčnosť paketového filtra je potrebné použiť verziu Raspberry Pi 2, prípadne Raspberry Pi 3. Na staršej verzii tento paketový filter nie je podporovaný. Ďalšia možnosť nastavenia je „IMAGE\_INSTALL\_append“, ktorá nastavuje balíky, ktoré sa pri procese kompilácie implementujú do daného obrazu YOCTO Linuxu. Pri tejto možnosti je potrebné mať konfiguračné súbory daných balíkov nainportované v konfiguračnom súbore „bbplayers.conf“ [5]. Tieto konfiguračné nastavenia sú uložené v súboroch „\*.bb“ [5]. Pri vývoji je možné aj tieto balíky meniť a nastavovať, čím sa docieli optimálna veľkosť a funkcionálna nami navrhovaného obrazu. Pre potreby sieťového prekladu je vhodné nainštalovať balík „nano“ [8], ktorý slúži ako textový editor. Pri kompilácii je nutné nastaviť aj možnosť „EXTRA\_IMAGE\_FEATURES“. Touto premenou sa do daného obrazu YOCTO Linuxu zahrnú balíky, ktoré slúžia na tvorbu programov v programovacom jazyku C. Medzi nastavenia tejto premennej je možné nastaviť:

- tools-debug zahŕňa aplikácie ako gdb, strace
- debug-tweaks zahŕňa SSH server dropbear,
- tools-sdk zahŕňa balíky potrebné pre kompiláciu GCC, MAKE, CPP.

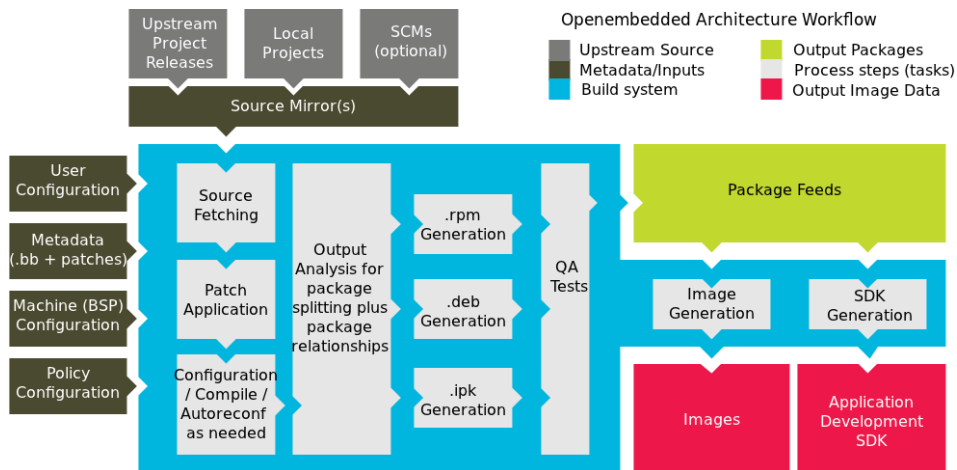
Pre spustenie a vytvorenie sieťového prekladu je potrebné zvoliť nastavenia: „debug-tweaks“ a „tools-sdk“. Tieto nastavenia zabezpečia implementáciu všetkých balíkov, ktoré sú potrebné na kompiláciu aplikácie vykonávajúcej sieťový preklad. Ďalej sa vytvorí aj SSH server pomocou ktorého je možné pristupovať na daný systém vzdialene.

#### Kompilácia YOCTO Linuxu

Krok samotnej kompilácie spočíva v spustení príkazu „bitbake“ [5]. Tento príkaz zabezpečí spustenie kompilácie, pričom ako parameter za tento príkaz udávame verziu, ktorú chceme skompilovať. Existujú 3 rôzne verzie, ktoré môžeme skompilovať. Tieto verzie sa líšia množstvom pridaných balíkov a rozšírení v danom operačnom systéme. Predovšetkým sa pridávajú rôzne balíky na vývoj aplikácií na ARM architektúre. Ide o kompilačné nástroje ako sú GCC, make a mnoho iných. Možnosti YOCTO Linuxu, ktoré je možné skompilovať:

- rpi-hwup-image,
- rpi-test-image,
- rpi-basic-image.

Na Obr. 1 je znázornený proces akým sa vykonáva kompilácia obrazu YOCTO Linuxu pomocou príkazu „bitbake“. Môžeme vidieť, že vstupné nastavenia sú konfiguračné súbory ako „local.conf“, „\*.bb“, ktoré zabezpečujú nastavenia pre stiahnutie požadovaných balíkov z repozitárov. Príkaz „bitbake“ zabezpečí výber všetkých potrebných balíkov, ktoré sú pre požadovanú verziu potrebné. Každá táto verzia zabezpečuje iné balíky, ktoré je možné implementovať. Pre tvorbu servera určeného na paketový preklad je potrebné zvoliť verziu „rpi-basic-image“. Táto verzia zabezpečí implementáciu základných balíkov, ktoré sú potrebné pre správnu funkčnosť.



Obr. 1 Štruktúra kompilovania operačného systému YOCTO Linux

### Tvorba YOCTO Linuxu s využitím CLOUD systému

Pri procese tvorby obrazu YOCTO Linuxu dochádza k nadmernému využívaniu prostriedkov počítača. Najviac sa využíva disk a procesor. Problém s využitím disku sa dá vyriešiť použitím SSD disku, čo však nie je vhodné nakoľko častým prepisovaním tohto disku súbormi s malou veľkosťou dochádza k degradácii pamäťových buniek Flash pamätí v disku. Preto je vhodné na tieto účely zvoliť diskové pole zložené zo serverových diskov, ktoré majú postačujúcu rýchlosť a priepustnosť.

Na kompilovanie je potrebné použiť čo najväčší počet jadier, ktoré zabezpečia kompiláciu. Použitím malého počtu jadier dochádza k predlžovaniu času kompilácie.

CPU CORE	RAM	HDD	Dĺžka kompilácie minimálny obraz	Dĺžka kompilácie vývojový obraz
24	12 GB	120 GB	40 min	55 min
2	2	120 GB	3 hod	4,5 hod

Tabuľka 1  
 Prehľad konfigurácie a dĺžky kompilácie v CLOUD prostredí

V Tab. 1 je znázornený príklad dĺžky kompilovania YOCTO operačného systému v CLOUD [9] infraštruktúre, pri dvoch nastaveniach výpočtového výkonu. Z danej tabuľky vyplýva, že na kompilovanie je vhodné použiť výkonnejší typ zostavy, ktorá zabezpečí väčší výpočtový výkon a vyšší paralelizmus pri kompilácii. Dané merania boli vykonávané v CLOUD infraštruktúre kde je možné nastaviť počet jadier danému operačnému systému. Na kompiláciu bol použitý operačný systém UBUNTU 14.04 [10], do ktorého boli nainštalované potrebné balíčky na vykonanie procesu kompilácie. Cloudová infraštruktúra na ktorej beží daný systém určený na kompiláciu beží na procesoroch rady Intel Xeon X5675 ktorého takt je 3.1 GHz. Na úložisko bol priradený danému operačnému systému priestor 120 GB, ktorý bol uložený na diskovom poli založenom na 600 GB diskoch. Tieto disky sú serverové, takže majú 15,6 tisíc otáčok za sekundu, čo zabezpečuje vysokú rýchlosť podobnú rýchlosti disku SSD.

Na Obr. 2 je znázornený príklad využívania procesora pomocou programu „htop“ [11]. Tento program umožňuje monitorovať využitie jadier daného procesora. Na danom obrázku je znázornený postup kompilovania na CLOUD infraštruktúre kde bolo zvolených 24 jadier. Je možné vidieť, že proces využíva všetky tieto jadrá na 100%. Pre správny chod paralelného kompilovania je potrebné v konfiguračnom súbore nastaviť možnosti: „BB\_NUMBER\_THREADS“ a „PARALLEL\_MAKE“.

V Tab. 2 je znázornený prehľad edícií obrazov YOCTO Linuxu pre mikropočítač Raspberry Pi. Tieto obrazy je vhodné použiť na spustenie paketového prekladu prípadne na iné vstavané aplikácie. Najmenšia z verzií obrazov má len 127 MB a obsahuje všetku potrebnú podporu pre spustenie daného paketového prekladu. Na najmenšej verzii obrazu nie je možné vykonávať kompiláciu programu, je možné tento program iba spustiť. Nástroje ktoré sú potrebné pre správnu funkčnosť kompilátoru sú v obraze „rpi3-develop.rpi-sdimg“. Tento obraz je určený na vývoj a preto má aj najväčšiu veľkosť. Najvhodnejšie je použiť verziu „pi3-zakladna.rpi-sdimg“, ktorá v sebe zabudované aj pomocné balíky, ako je SSH server a textový editor „nano“. Tieto balíky zjednodušujú správu daného vstavaného zariadenia.

```

yocto@ubuntu: ~
1 [|||||] [79.4%] 7 [|||||] [79.2%] 13 [|||||] [73.6%] 19 [|||||] [80.4%]
2 [|||||] [100.0%] 8 [|||||] [71.1%] 14 [|||||] [74.0%] 20 [|||||] [72.4%]
3 [|||||] [74.2%] 9 [|||||] [75.8%] 15 [|||||] [94.0%] 21 [|||||] [76.0%]
4 [|||||] [72.8%] 10 [|||||] [79.2%] 16 [|||||] [84.9%] 22 [|||||] [75.5%]
5 [|||||] [75.8%] 11 [|||||] [86.8%] 17 [|||||] [85.5%] 23 [|||||] [71.0%]
6 [|||||] [75.5%] 12 [|||||] [78.2%] 18 [|||||] [78.9%] 24 [|||||] [78.1%]
Mem [|||||] [2911/7901M]
Swap [|||||] [1/8189M]
Tasks: 95, 8 chrt; 10 running
Load average: 15.40 6.84 2.74
Uptime: 00:50:16

PID USER      PRI  NI  VIRT   RES   SHR  S  CPU% MEM%   TIME- Command
14851 yocto    20   0  311M  280M 13884 R 99.4  3.5  0:13.65 /usr/lib/gcc/x86_64-linux-gnu/4.8/cc1 -quiet -I .. -I ../sqlite-autoc
4782 yocto    20   0  642M  157M 3096 R 19.1  2.0  0:17.97 git lndsk --stdin -v --fix-chn --keep-fetch-back 1427 on ubuntu
31929 yocto    20   0 11096 4276 2484 S 5.3  0.1  0:00.31 /bin/bash ../.gettext-0.19.8.1/gettext-runtime/configure --disable-c
2408 yocto    20   0 18500 9532 2748 S 5.3  0.0  0:00.18 /bin/bash ../xtrans-1.3.5/configure --build=x86_64-linux --host=x86_64
32438 yocto    20   0 19512 4544 2776 S 3.9  0.1  0:00.25 /bin/bash ../libpthread-stubs-0.3/configure --build=x86_64-linux --hos
14880 yocto    20   0 30884 4624 3660 S 3.3  0.1  0:02.02 git -c core.fayncobjectfiles=0 clone --bare --mirror git://github.com/
14227 yocto    20   0 30884 4624 3660 S 2.6  0.1  0:02.03 git -c core.fayncobjectfiles=0 clone --bare --mirror git://github.com/
4276 yocto    20   0 8456 3372 2144 S 2.0  0.0  0:00.05 make DESTDIR=RPATH_LIST=/home/yocto/poky/rpi-conf/tmp/work/x86_64-lin
17968 yocto    20   0 28856 3868 3444 S 2.0  0.0  0:01.15 wget -t 2 -T 30 -nv --passive-ftp --no-check-certificate -P /home/yoct
6527 yocto    20   0 26540 4336 2984 S 1.3  0.1  0:01.99 ntop
13575 yocto    20   0 81840 17640 3264 S 1.3  0.2  0:00.15 as -I .. -I ../sqlite-autoconf-3170000 --64 -o .libs/sqlite3.o
17799 yocto    20   0 477M 138M 6296 S 1.3  1.7  0:16.62 python3 /home/yocto/poky/bitbake/bin/bitbake rpi-basic-image
18119 yocto    20   0 28856 3896 3472 S 1.3  0.0  0:01.49 wget -t 2 -T 30 -nv --passive-ftp --no-check-certificate -P /home/yoct
4003 yocto    20   0 181M 63284 4996 S 0.7  0.8  0:00.21 python3 /home/yocto/poky/bitbake/bin/bitbake-worker decafbad
17937 yocto    20   0 182M 63544 4912 S 0.7  0.8  0:01.29 python3 /home/yocto/poky/bitbake/bin/bitbake-worker decafbad
17794 yocto    20   0 98936 42272 8192 S 0.7  0.8  0:09.09 python3 /home/yocto/poky/bitbake/bin/bitbake rpi-basic-image
18114 yocto    20   0 182M 64236 4932 S 0.7  0.8  0:01.61 python3 /home/yocto/poky/bitbake/bin/bitbake-worker decafbad
F1 Help F2 Setup F3 Search F4 Filter F5 Recv F6 Sort By F7 Nice F8 Nice F9 Kill F10 Quit

```

Obr. 2 Využitie procesora pri kompilácii

YOCTO	Nainštalované balíky	Veľkosť MB
rpi3-minimal.rpi-sdimg	Žiadné	127
pi3-zakladna.rpi-sdimg	nano, debug-tweaks	144
rpi3-embedded.rpi-sdimg	nano, wiringpi, apache2, owfs, digitemp, fuse, ntp, watchdog, screen, debug-tweaks	156
rpi3-develop.rpi-sdimg	nano, wiringpi, apache2, owfs, digitemp, fuse, ntp, watchdog, screen, debug-tweaks, tools-sdk	439

Tabuľka 2

Prehľad verzií YOCTO na Raspberry Pi 3

#### IV. VYUŽITIE PAKETOVÉHO PREKLADU NA PRENOS TELEVÍZIE

Samotný vstavaný systém založený na operačnom systéme YOCTO Linux je možné využiť ako proxyserver, ktorý spracováva pakety jedného typu a tie prevádza na iný typ. Takýto príklad proxy servera, ktorý spracováva pakety je „UDP IPTV to RTSP proxy“. Tento proxy server zabezpečuje preklad UDP multicast vysielanej televízie v sieti na protokol RTSP, cez ktorý je možné jednoduchšie sledovať dané multicastové vysielanie. Zdrojový kód proxy servera je napísaný v jazyku C, čiže pre danú verziu YOCTO Linuxu je potrebné ho skompilovať. Samotný proxy server je možné stiahnuť zo stránky <https://sourceforge.net/p/iptv2rtsp-proxy/>. Pre správne skomplikovanie je potrebné zadať príkaz:

```
make
```

Po úspešnom ukončení kompilácie sa vytvorí spúšťací súbor daného proxy servera s názvom „iptv2rtsp-proxy“. Pomocou tohto spúšťáča je možné proxy server zapnúť s určitou konfiguráciou. Pre spustenie proxy servera potrebujeme zadať informácie o IP adrese, ktorá je nastavená na operačnom systéme YOCTO. Ďalšia dôležitá možnosť je nastavenie portu, na ktorom daný proxy server bude načúvať a čakať na požiadavku od daného klienta. Spustenie proxy serveru sa vykoná zadaním tohto príkazu :

```
./iptv2rtsp-proxy -f -s 192.168.10.10 -l 5555
```

V tomto prípade IP adresa „192.168.10.10“ znázorňuje IP adresu nastavenú v YOCTO operačnom systéme a možnosť „-l 5555“ nastavuje port, na ktorom bude proxy server načúvať. Tento port je možné zvoliť ľubovoľne, avšak už sa nemôže používať inou aplikáciou.

Na overenie funkčnosti samotného programu sa používa multimediálny prehrávač VLC, ktorý zabezpečí prehranie videa v danom RTSP protokole. Tento prehrávač sa spúšťa na inom počítači ako je mikropočítač Raspberry Pi. Na samotné prehranie v programe VLC je potrebné do položky „Open Network Stream“ zadať „rtsp://192.168.0.10:5555/iptv/224.50.50.50/1234“. Táto adresa určuje odkiaľ sa má spustiť daný stream, pričom:

- rtsp:// táto možnosť určuje typ protokolu cez ktorý je daný stream vysielaný,
- 192.168.0.10:5555 táto možnosť určuje IP adresu daného proxy servera a taktiež aj port, na ktorom načúva,

- 224.50.50.50 táto možnosť určuje multicastovú IP adresu, na ktorej beží stream, ktorý sa má začať prekladať,
- 1234 táto možnosť určuje port, na ktorom beží daný stream.

#### V. ZÁVER

Cieľom tohto článku bolo naznačiť výhody vstavaných systémov založených na Linuxe, ktorý je možné upraviť. Na tento účel bol použitý projekt YOCTO Linux, ktorý umožňuje odoberať súčasti operačného systému. Pri tvorbe vstavaného zariadenia zameraného len ako PROXY server, ktorý prekladá pakety bolo potrebné zaistiť dostatočnú výkonnosť optimalizovaného vstavaného systému. Využitie operačného systému YOCTO Linux na mikropočítačoch Raspberry Pi vyžadujú menší výpočtový výkon, ako pri použití iných operačných systémov. Použitím tohto operačného systému je možné doceliť aj vysokú stabilitu a dostačujúci výkon pre aplikácie daného vstavaného systému. Na skomplikovanie daného PROXY serveru bol otestovaný kompilátor GCC, ktorý bol generovaný spolu YOCTO Linuxom.

#### POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-15-0692.

#### LITERATÚRA

- [1] Raspberry Pi home page. Dostupné na: <https://www.raspberrypi.org/>.
- [2] YOCTO Linux. Dostupné na: <https://www.yoctoproject.org/>.
- [3] L. Harte, "Introduction to data multicasting," 2008. [Online]. Available: <https://books.google.sk/books?id=EUUqAAAACAAJ>
- [4] Real Time Streaming Protocol (RTSP). Dostupné na: <https://tools.ietf.org/html/rfc2326>.
- [5] YOCTO documentation. Dostupné na: <http://www.yoctoproject.org/docs/2.3/mega-manual/mega-manual.html>.
- [6] Raspberry Pi 2 datasheet. Dostupné na: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-2-model-b/>.
- [7] Raspberry Pi 3 datasheet. Dostupné na: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>.
- [8] Text editor nano. Dostupné na: <https://www.nano-editor.org/>.
- [9] Cloud Technickej univerzity v Košiciach. Dostupné na: <http://www.cloud.tuke.sk/>.
- [10] Operačný systém UBUNTU. Dostupné na: <https://www.ubuntu.com/>.
- [11] Interactive process viewer. Dostupné na: <http://hisham.hm/htop/>.

# Detektor rečovej aktivity založený na hlbkej neurónovej sieti

*Dávid ČONKA, Peter VISZLAY, Jozef JUHÁR*

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií,  
Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach,  
Park Komenského 13, 042 10 Košice, Slovenská republika

david.conka@tuke.sk, peter.viszlay@tuke.sk, jozef.juhar@tuke.sk

**Abstrakt** – Predstavovaná práca prezentuje doprednú neurónovú sieť (Feed-forward Neural Network - FFNN) použitú pre detektor rečovej aktivity. Navrhovaná sieť pozostávala zo štyroch vrstiev, pričom počet neurónov na jednotlivých vrstvách bol rôzny. Vstup tvorili 13- rozmerné MFCC (Mel-frequency Cepstral Coefficients) koeficienty a na výstupe bol riadkový vektor, ktorý popisoval priebeh rečového signálu. Program pozostával z troch častí: tréovania, testovania a vyhodnocovania. Úspešnosť správne detekovaných rečových úsekov bola zvolená za rozhodovací parameter. Pri tréovaní sietí využívala rôzne tréovacie algoritmy. Všetky parametre využívali prednastavené hodnoty. Databáza pozostávala z viac ako 100 rečových nahrávok, ktoré boli rozdelené do tréovacej a testovacej podmnožiny. Výsledková časť porovnáva výkonnosti rôznych tréovacích algoritmov. V práci je stručne popísaná neurónová sieť a detektor rečovej aktivity.

**Príučové slová** – neurón, dopredná sieť, hlboká architektúra, detektor rečovej aktivity, tréovací algoritmus

## I. ÚVOD

Reč je základným médiom pre výmenu informácií, či už v ľudskom alebo zvieracom živote. Proces prepisu reči do textovej podoby nazývame automatické rozpoznávanie reči (Automatic Speech Recognition - ASR). ASR používajúci MFCC je opísaný v [1].

Detektor rečovej aktivity (Voice Activity Detector - VAD) separuje užitočný (reč) signál a signál pozadia (nereč). V dnešnej dobe je výskum okolo ASR a VAD veľmi obľúbený [2]. Niektoré techniky využívajúce VAD boli použité v algoritmoch strojového učenia [3], [4]. V časti I je popísaná dopredná sieť. Časť IV pojednáva o neurónovej sieti, ktorá bola použitá pri tréovaní.

Hlavnou úlohou tohto výskumu bolo porovnať úspešnosti rôznych tréovacích algoritmov. Rozhodujúcim parametrom bola úspešnosť správne rozpoznávaných slov.

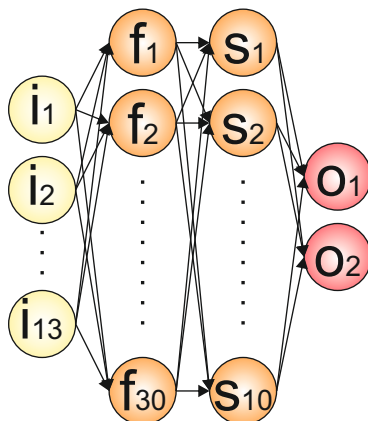
## II. DOPREDNÁ NEURÓNOVÁ SIETĽ

Tento odstavec krátko charakterizuje doprednú neurónovú sieť (FFNN). FFNN je druh neurónovej siete pozostávajúci zo vstupnej, skrytej a výstupnej vrstvy [5], [6]. Každá vrstva môže mať viacero uzlov (axónov). Počet skrytých vrstiev definuje hĺbku siete [7], [8]. Dáta sú vedené iba jedným smerom. To znamená, že vstupné dáta prichádzajú do vstupných neurónov, vstupné neuróny ovplyvňujú neuróny prvej skrytej vrstvy atď. NN s dvoma a viac skrytými vrstvami nazývame hlboká neurónová sieť (DNN) [9], [10]. Hlboké neurónové siete sa úspešne používajú pri strojovom rozpoznávaní ako napr. vzorové, obrazové, rečové [11].

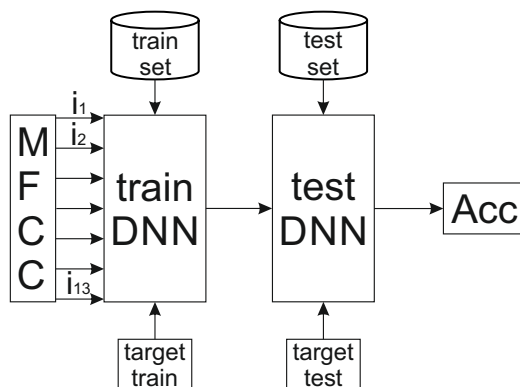
## III. PRÍBUZNÉ PRÁCE

Neurónové siete zamerané na detektor rečovej aktivity pre DNN sú spomenuté v [12], [13]. Autori v [14] spojili ich predošlý ASR-DNN model s ďalšou vrstvou, ktorá rozlišuje rečový a nerečový signál. Ich rečový korpus mal okolo 100 hodín. Výsledky VAD-DNN boli lepšie ako energetické VAD. V [15] Voice Activity Detektor používaný pre DNN na Youtube kanáli prevyšuje základný Gaussovský model.





Obr. 1 Dopredná neurónová sieť



Obr. 2 Bloková schéma VAD s použitím DNN

#### IV. VYUŽITÉ NÁSTROJE

Tento odstavec popisuje použitú databázu. Spomenuté sú jednotlivé vrstvy a počty neurónov, ktoré tvorili architektúru siete.

Vstupné dáta boli poskytnuté Laboratóriom rečovných technológií na TUKE. Bolo použitých 100 rečových nahrávok (620s) na tréningovanie a 30 rečových nahrávok (40,4s) na testovanie. Tieto dáta boli získané ako výstup predchádzajúceho VAD systému. To na koľko percent boli tieto dáta úspešne označované, nebolo pre náš prípad dôležité. Táto práca sa sústreďuje na vytvorenie VAD detektora použitím neurónovej siete pre náš nasledujúci výskum.

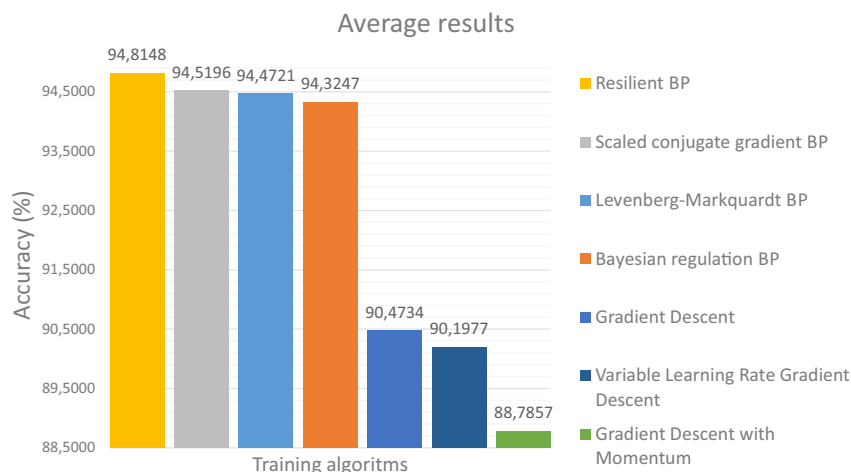
Architektúra siete pozostávala zo 4 vrstiev zobrazených na Obr. 1. Vstupná vrstva mala 13 uzlov  $i_i$ , ktoré reprezentovali 13 MFCC koeficientov. 30 skrytých neurónov  $f_i$  bolo zvolených pre prvú skrytú vrstvu. Druhá skrytá vrstva mala 10 skrytých neurónov  $s_i$ . Výstupná vrstva  $o_i$  mala dva uzly.

Po vytvorení FFNN nasledovalo tréningovanie. Počet vstupných vektorov musel byť rovnaký ako počet označených vektorov (0 nereč, 1 reč). Podľa týchto označení sa sieť naučila rozpoznať úseky reči a nereči. Ako bolo spomenuté vyššie, každý vstupný vektor mal 13 koeficientov (viď Obr. 2).

Pri tréningovaní boli použité rôzne tréningové algoritmy, od čoho závisel aj čas tréningovania. Niektoré z nich pracovali rýchlejšie, keďže mali prednastavenú maximálnu dobu zlyhania (prednastavená hodnota zlyhania = 6, t.j. pri dosiahnutí minima, pokračuje tréningovanie 6 nasledujúcich krokov. Ak nenájde nižšie minimum, ukončí tréningovanie). Všetky použité algoritmy okrem Bayesovskej regularizácie, mali nastavenú maximálnu dobu zlyhania na 6 krokov. Bayesovská regularizácia, ktorá takéto zlyhanie nemala nastavené, pracovala omnoho dlhšie.

Po procese tréningovania je sieť schopná rozlišovať rečové a nerečové úseky. Preto možno sieť považovať za natréningovanú a možno ju testovať.

Neznáme dáta prídu na vstup natréningovanej siete. Rovnako ako pri tréningovaní, počet označených vektorov v testovacích dátach je rovnaký ako počet testovacích vektorov na vstupe. Nasleduje simulácia siete a následne vyhladzovanie, t.j. odstránenie nežiadúcich, nesprávne zvolených úsekov.



Obr. 3 Priemerné výsledky rôznych tréningových algoritmov

Výstupný vektor obsahuje hodnoty v rozsahu -1 až 1.

Rozhodovacia úroveň bola zvolená na 0,55. To znamená, že hodnoty vyššie ako 0,55 boli prepísané na 1. Vzorky s nižšou hodnotou ako je rozhodovacia úroveň boli nastavené na 0. Po tomto úkone výstupný vektor pozostával z rovnakých hodnôt ako označený vektor z testovacej databázy.

Pravdepodobnosť (Accuracy - Acc) bola zvolená ako hodnotiaci parameter. Výstupný vektor bol porovnávaný s testovacím označeným vektorom (test target). V prípade nájdenia rozdielu medzi týmito dvoma vektormi, narastalo chybové číslo (error). Po porovnaní všetkých vektorov bola vypočítaná pravdepodobnosť úspešne detekovaných vektorov. Tento proces a celý program bol spustený 100 krát. Na samotnom konci bola uložená dosiahnutá pravdepodobnosť. Z dôvodu dôveryhodnejšieho výsledku bol urobený aritmetický priemer zo 100 meraní zobrazený na Obr. 3.

Na porovnanie: v prípade spustenia toho istého programu, pri použití totožných parametrov a algoritmu Resilient backpropagation algoritmu pre viac ako 3 h rečových nahrávok, bola priemerná hodnota Acc 93,5848%. Hoci tento výsledok je menší ako maximum dosiahnuté na Obr. 3, táto hodnota je hodnovernejšia.

## V. ZHRNUTIE A BUDÚCE CIELE

V tejto práci bol použitý detektor rečovej aktivity aplikovaný v hlbokoj neurónovej sieti. Pracovalo sa s doprednou neurónovou sieťou, ktorá sa skladala zo štyroch vrstiev. Vstup siete pozostával z 13 MFCC koeficientov. Výstupný vektor bol jedno-rozmerný a obsahoval čísla 0, 1. Tieto hodnoty naznačovali, či sa jedná o reč resp. nereč. Skript bol spustený 100 krát, takže na konci bolo uchovaných 100 rôznych hodnôt, z ktorých bol vypočítaný aritmetický priemer.

Môžeme zhrnúť, že pre nasadené dáta sa najlepším algoritmom ukázal byť Resilient Backpropagation (RB) podľa (Obr. 3). RB bol jedným z najrýchlejších algoritmov, ktoré boli použité pri tréningu.

V súčasnosti používame konvolučnú sieť (CNN) pre úlohu detektora rečovej aktivity a snažíme sa ju rozšíriť na iné aplikácie. Cieľom do budúcnosti je vytvoriť CNN s 3-7 vrstvami, ktorá bude nápomocná pri ďalšom výskume.

## POĎAKOVANIE

Výskum v tejto práci bol podporený Vedeckou grantovou agentúrou v rámci projektu VEGA 1/0511/17 a Agentúrou na podporu výskumu a vývoja v rámci projektu APVV-15-0517, financovaných z prostriedkov Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky.

## LITERATÚRA

- [1] J. Tebelskis, "Speech recognition using neural networks," Ph.D. dissertation, Siemens AG, 1995.
- [2] J. Kola, C. Espy-Wilson, and T. Pruthi, "Voice activity detection," *Merit Bien*, pp. 1–6, 2011.
- [3] R. P. Lippmann, "An introduction to computing with neural nets," *ASSP Magazine, IEEE*, vol. 4, no. 2, pp. 4–22, 1987.
- [4] F. Beritelli, S. Casale, and A. Cavallaro, "A robust voice activity detector for wireless communications using soft computing," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 16, no. 9, pp. 1818–1829, 1998.
- [5] Y. Dong and D. Li, *Automatic Speech Recognition A Deep Learning Approach*. Springer, 2015.

- [6] M. Katrák, "Klasifikácia foném reči neurónovou sieťou," Ph.D. dissertation, Dept. of Electronics and Multimedia Communications, Technical University of Košice, Slovak Republic, 2010.
- [7] S. Katagiri, *Handbook of neural networks for speech processing*. Artech House, Inc., 2000.
- [8] J. Schmidhuber, "Deep learning in neural networks: An overview," *Neural Networks*, vol. 61, pp. 85–117, 2015.
- [9] L. Tóth and T. Grósz, "A comparison of deep neural network training methods for large vocabulary speech recognition," in *Text, Speech, and Dialogue*. Springer, 2013, pp. 36–43.
- [10] P. Swietojanski, A. Ghoshal, and S. Renals, "Unsupervised cross-lingual knowledge transfer in dnn-based lvcsr," in *SLT*, 2012, pp. 246–251.
- [11] S. Thomas, M. L. Seltzer, K. Church, and H. Hermansky, "Deep neural network features and semi-supervised training for low resource speech recognition," in *Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2013 IEEE International Conference on*. IEEE, 2013, pp. 6704–6708.
- [12] X.-L. Zhang and J. Wu, "Deep belief networks based voice activity detection," *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, vol. 21, no. 4, pp. 697–710, 2013.
- [13] F. Eyben, F. Weninger, S. Squartini, and B. Schuller, "Real-life voice activity detection with lstm recurrent neural networks and an application to hollywood movies," in *2013 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*. IEEE, 2013, pp. 483–487.
- [14] F. Bie, Z. Zhang, D. Wang, and T. F. Zheng, "Dnn-based voice activity detection for speaker recognition," 2015.
- [15] N. Ryant, M. Liberman, and J. Yuan, "Speech activity detection on youtube using deep neural networks," in *INTERSPEECH*, 2013, pp. 728–731.

# Paralelné využitie viacerých evolučných algoritmov pre hľadanie riešenia

<sup>1</sup>Martin KONEČNÝ, <sup>2</sup>Marián MACH

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>martin.konecny.3@student.tuke.sk, <sup>2</sup>marian.mach@tuke.sk

**Abstrakt** — Cieľom článku je problematika riešenia úloh prostredníctvom evolučných algoritmov, hľadajúcich svoju inšpiráciu v prírodných evolučných procesoch. Pozornosť je venovaná využitiu paralelných verzií algoritmu, umožňujúcich nielen zrýchlenie hľadania riešenia zapojením viacerých procesorov do výpočtov ale aj skvalitnenie nachádzaných riešení vďaka posilneniu schopnosti algoritmu uniknúť z oblasti lokálnych extrémov. Bolo vytvorené rozhranie ku knižnici IOWLibrary pre jednoduché plánovanie a realizáciu experimentov s ostrovným modelom paralelného evolučného algoritmu. V rámci následného experimentovania boli realizované experimenty zamerané na využitie dvoch typov migračného operátora pre komunikáciu medzi subpopuláciami ostrovného modelu.

**Kľúčové slová** — evolučný algoritmus, migračný operátor, ostrovný model, paralelizácia

## I. ÚVOD

Zvyšujúca sa zložitosť problémov, ktoré sa riešia evolučnými algoritmi, a dostupné viacprocesorové/viacjadrové technické vybavenie vedú k rastúcemu významu paralelných podôb evolučných algoritmov. Samotná štruktúra evolučného algoritmu založeného na manipulácii s populáciou jedincov v niekoľkých samostatných blokoch algoritmu [1] predstavuje príležitosť pre vytváranie rôznych paralelných verzií tejto štruktúry.

V dvoch aspektoch majú paralelné evolučné algoritmy výhodu pred klasickou sériovou podobou algoritmu. Prvým aspektom je, že sú rýchlejšie ako sériové algoritmy, keďže sa môžu naraz spustiť na viacerých procesoroch. Druhým aspektom je, že paralelné evolučné algoritmy sú odolnejšie voči uviaznutiu v lokálnom optime, čo môže spôsobiť rýchlejšiu konvergenciu ku globálnemu optimu pri riešení multimodálnych problémov. Tieto prístupy sú odlišné pokiaľ ide o požiadavky na hardvér a efektívnosť [2], zvyčajne sú zosobnené v podobe troch rôznych modelov paralelných algoritmov.

## II. PARALELNÉ MODELY EVOLUČNÝCH ALGORITMOV

### A. Nadriadeno-podriadený model

Vyhodnotenie vhodnosti jedincov je v niektorých typoch úloh náročné na výpočet. Podľa [3] sa preto rozdelí táto práca medzi nadriadený proces a podriadený proces (resp. viac podriadených procesov). Pričom nadriadený (tzv. master) pracuje na rovnakej populácii jedincov ako sériové evolučné algoritmy a podriadené (tzv. slave) procesy vypočítavajú vhodnosti jedincov, pričom nadriadený aj podriadené pracujú na rôznych procesoroch. Potom ako podriadený procesor vyhodnotí vhodnosť jedinca, táto hodnota sa zapíše do pamäti alebo sa oznámi pomocou zaslania správy nadriadenému, ktorý tieto správy dokáže prečítať. Selekcia a kríženie jedincov sa už vykonávajú na hlavnom procesore.

Nadriadeno-podriadené modely môžu byť realizované dvomi navzájom odlišnými spôsobmi:

1. synchronný spôsob,
2. asynchronný spôsob.

Pri synchronnom modeli nadriadený prideli úlohy na výpočet vhodnosti podriadeným procesorom, potom čaká až sa všetky vhodnosti vypočítajú, a až potom vykoná selekciu a kríženie jedincov. Výsledky vykonávania tohto modelu sa nelíšia od sériovej podoby algoritmu. Pri asynchronnom modeli nadriadený proces nebude čakať na výpočet vhodnosti

celej populácie ale začne vykonávať následné kroky podľa možnosti aj keď nie je vypočítaná vhodnosť celej populácie. Vďaka tomu tento model môže produkovať iné výsledky ako sériová podoba algoritmu.

### B. Ostrovný model

V prírode jedným z faktorov udržiavania rôznorodosti je izolácia, ktorá obmedzuje pohyb jedincov. Na základe tejto koncepcie bol navrhnutý ostrovný model – model obsahujúci niekoľko malých subpopulácií, označovaných ako ostrovy. Takéto ostrovné modely rozdeľujú populáciu na niekoľko menších častí, kde následne nad každou takouto subpopuláciou beží osobitný evolučný algoritmus. Paralelizácia tu vzniká tak, že sa každý jednotlivý ostrov realizuje na samostatnom procesore samostatne.

Úplná izolácia populácie by však bola nevýhodná a tak sa po niekoľkých cykloch môžu jedince presúvať medzi ostrovmi. Tento krok sa označuje ako migrácia. Dobre vyvážená migrácia umožňuje informácie reprezentované dobrými jedincami preniesť na iný ostrov a tým prispieť ku komunikácii izolovaných subpopulácií. Rozdelenie populácie na časti je výhodné v tom, že dáva šancu na rovnomernejšie skúmanie prehľadávaného priestoru a celková rozmanitosť pomáha bojovať proti stagnácii hľadania [4]. Migrácia jedincov je podstatná vlastnosť, keďže zmena takých jej parametrov ako počet a výber migrujúcich jedincov ako aj migračná topológia majú vplyv na rýchlosť konvergence.

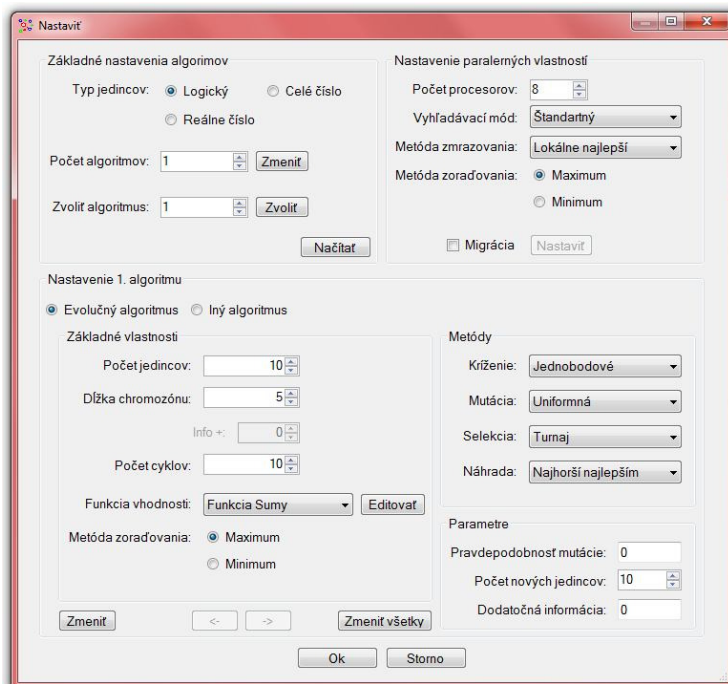
### C. Jemno-zrnný paralelný model

V podstate sa sleduje rovnaký princíp ako pri ostrovnom modeli, tiež sa populácia rozdelí na podskupiny. Avšak rozdiel je v tom, že teraz sa vytvorí mnoho malých podskupín, v ideálnom prípade sa každá podskupina bude skladať iba z jedného jedinca [5]. Tieto malé zhľuky jedincov sú zvyčajne umiestnené do uzlov dvoj alebo trojrozmernej siete.

K selekcii sa využívajú iba susedné podskupiny – takto sa selekčný tlak zníži v porovnaní s jednou veľkou populáciou. Trvá určitú dobu (v závislosti od použitej topológie výslednej siete), kým sa informácia prenesie po sieti. Selekcčný tlak a rýchlosť toku informácií môžu byť nastavené zmenou veľkosti daných podskupín jedincov.

## III. VYTVORENÁ TESTOVACIA APLIKÁCIA

Pre experimentovanie s rôznymi tvarmi paralelných algoritmov bola použitá knižnica IOWLibrary.dll, v ktorej sú prístupné algoritmy optimalizačných metód. K tejto knižnici bolo vytvorené grafické rozhranie, umožňujúce konfigurovať, spustiť a zobraziť výsledky optimalizačných algoritmov.



Obr. 1 Konfiguračné okno vytvorenej aplikácie.

Rozhranie obsahuje niekoľko okien pre rôzne operácie, príkladom takého okna je okno pre konfiguráciu použitých algoritmov na obr. 1. Umožňuje konfigurovať rôzne verzie ostrovného modelu, ako napríklad počet použitých procesorov, metódu paralelizácie ako aj komunikáciu medzi jednotlivými algoritmi. Pre nastavenie evolučného algoritmu je možné špecifikovať:

1. základné nastavenia (počet a dĺžku jedincov, funkciu vhodnosti, počet cyklov),
2. metódy operátorov, ktoré sa majú použiť,
3. ďalšie parametre (napr. počet nových jedincov, pravdepodobnosť mutácie, ap.).

Ďalšie okná sú použiteľné pre nastavenie automatického spúšťania algoritmov, vizualizáciu výstupov algoritmov (či už v textovej alebo grafickej podobe), manažment parametrov systému, atď.

#### IV. VYBRANÉ EXPERIMENTY S PARALELNÝMI MODELMI

Pre určenie základnej hodnoty, s ktorou je možné porovnávať tie paralelné formy algoritmu, ktoré boli počas experimentov použité, bol použitý výsledok sekvenčnej podoby evolučného algoritmu. Jednalo sa o použitie pre numerickú optimalizáciu, pričom sa hľadalo minimum funkcie tvaru

$$f(x_1, \dots, x_n) = f(x_1) + \dots + f(x_n) \quad (1)$$

kde pre jednotlivé čiastkové funkcie bolo možné voliť funkcie lineárne, mocninové, exponenciálne ako aj goniometrické. Jedinec bol teda rozdelený na niekoľko chromozómov a každý z nich reprezentoval hodnotu vstupu jednej čiastkovej funkcie [6]. Algoritmus používal reálnu reprezentáciu v spojitosti s operátormi (jednobodové kríženie, uniformná mutácia, turnajová selekcia, náhrada najlepšimi jedincami) a parametrami (500 jedincov v populácii, 1000 cyklov evolučného procesu).

Výsledná vhodnosť najlepšieho jedinca sa pohybovala v intervale od 1500 až po 1800, najčastejšie však v jeho časti 1500 až 1600. Preto hodnota 1500 bola akceptovaná ako základňa, voči ktorej boli porovnávané ostatné výsledky.

##### A. Rovnaké algoritmy

Prvý experiment prebehol s použitím ostrovného modelu, kde populácia bola rozdelená na niekoľko subpopulácií (ostrovov). Nad každým z nich bol použitý evolučný algoritmus rovnakej štruktúry a s rovnakými parametrami ako v predchádzajúcom prípade použitia sériovej verzie.

Tabuľka 1  
Vhodnosť najlepšieho jedinca

Počet ostrovov	Bez migrácie	Prirodzená migrácia	Klonovacia migrácia
4	1511	1290	1173
8	1471	1058	1068
12	1399	1088	1040

V prvom prípade sa jednalo o na sebe nezávislé algoritmy, ktoré nemali možnosť navzájom komunikovať – medzi ich populáciami neexistovala žiadna migrácia. Je vidieť, že voči sériovej verzii algoritmu nebol dosiahnutý výrazný pokrok – dosiahnutie lepšieho výsledku pri použití dvanástich ostrovov poskytuje rovnakú pravdepodobnosť získania lepšieho výsledku ako dvanásť opakovaní sériovej podoby evolučného algoritmu.

V druhom prípade existovala medzi algoritmi prirodzená migrácia. Pri tomto type migrácie sa neberie do úvahy vhodnosť dosiahnutá jednotlivými členmi populácií ostrovov. Migrujúce jedince sú zo subpopulácie vyberané náhodným spôsobom, následne si subpopulácie tieto náhodné jedince vymenia. Je vidieť pokrok oproti jedinému algoritmu – migrácia má pozitívny vplyv na dosiahnuté výsledky. Intuitívna predstava je tá, že každý z algoritmov získava väčší objem informácií o prehľadávanej ploche vhodnosti než zodpovedá počtu tých jedincov, ktoré boli generované daným algoritmom (vďaka informáciám z hľadania ostatných algoritmov). To vo vymedzenom počte cyklov evolučného procesu umožňuje realizovať prehľadávanie, ktoré je efektívne väčšieho rozsahu než ako by to bolo bez existencie migrácie medzi subpopuláciami.

V treťom prípade bola medzi algoritmi použitá klonovacia migrácia. Pri tomto type migrácie sa z každej populácie vyberajú najlepšie jedince a tieto následne sú klonované do iných subpopulácií, kde nahrádzajú jedince so zlou vhodnosťou. Vďaka tomu tento typ migrácie poskytuje dodatočný selekčný tlak, ktorý tlačí subpopulácie pri vzorkovaní plochy

vhodnosti smerom k sľubnejším oblastiam. Prejavilo sa to na ďalšom zlepšení získaných výsledkov, ako možno vidieť v príslušnom stĺpci v tab. 1.

### B. Algoritmy s rôznymi parametrami

Druhý experiment mal podobnú štruktúru ako experiment predchádzajúci s tým rozdielom, že algoritmy nad jednotlivými subpopuláciami používali rozdielne realizácie niektorých blokov evolučného algoritmu – okrem jednobodového kríženia bolo k dispozícii aj kríženie uniformné, okrem turnajovej selekcie aj selekcia ruletová ako aj náhodná selekcia, a okrem náhrady najlepšimi jedincami aj čiarková stratégia. Takýmto spôsobom bolo možné v úlohe každého z paralelných algoritmov použiť iný tvar algoritmu.

Tabuľka 2  
Vhodnosť najlepšieho jedinca

Počet ostrovov	Bez migrácie	Prirodzená migrácia	Klonovacia migrácia
4	1320	1211	1179
8	1454	1159	1039
12	1235	949	916

Na rozdiel od predchádzajúceho experimentu, teraz došlo k zlepšeniu aj v prípade absencie migrácie – práve vďaka rôznosti použitých algoritmov, keď každý z nich prehľadával plochu vhodnosti trochu iným spôsobom. Použitie migrácie, či už prirodzenej alebo klonovacej, malo opäť pozitívny vplyv, ktorý sa prejavil najmä v prípade, keď variabilita algoritmov nad subpopuláciami bola najväčšia (teda v prípade dvanástich ostrovov).

## V. ZÁVER

Na základe vykonaných experimentov je možné konštatovať, že nahradením jedného evolučného algoritmu, ktorý pracuje nad celou populáciou jedincov, pomocou niekoľkých evolučných algoritmov, z ktorých každý pracuje iba nad malou subpopuláciou, je možné značne zlepšiť konvergenčné vlastnosti algoritmu a tým dosiahnuť priaznivejšie výsledky hľadania. Dosiahnuté výsledky potvrdili predpoklady, formulované na základe predstavy o spôsobe práce migračného operátora a pohybe vybraných jedincov medzi subpopuláciami – migrácia prispieva k ďalšiemu zlepšovaniu schopnosti paralelnej ostrovej verzie evolučného algoritmu nachádzať priaznivejšie riešenia.

V práci boli využité algoritmy z knižnice IOWLibrary. Prínosom autorov bolo rozšírenie tejto knižnice o variantné implementácie migračného operátora a vytvorenie vizuálneho rozhrania k tejto knižnici pre jednoduché plánovanie a realizáciu experimentov s ostrovným modelom paralelného evolučného algoritmu.

Uvedené by bolo možné ďalej rozvíjať experimentovaním s rôznymi podobami evolučných algoritmov pracujúcich so subpopuláciami, ktoré by sa mohli líšiť navzájom napríklad rozsahom/oblasťou plochy vhodnosti prehľadáwanej jednotlivými čiastkovými algoritmi. Zaujímavým sa zdá aj skúmanie adaptívnych prístupov k realizácii migračného operátora. Toto považujeme za vhodný smer ďalšieho výskumu.

## POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt “Centrum informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy” (kód ITMS: 26220120020), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## LITERATÚRA

- [1] M. Mach: *Evolučné algoritmy: prvky a princípy*, Elfá, Košice, 2009, 250 s.
- [2] E. Cantú-Paz: Migration policies, selection pressure, and parallel evolutionary algorithms, *Journal of Heuristics*, roč. 7, 2001, č. 4, s. 311-334.
- [3] S. Welten: *Parallelization of evolutionary algorithms*. Institute of Technology, Zurich, 2008, 62 s.
- [4] M. Tomassini: *Spatially structured evolutionary algorithms: artificial evolution in space and time*, Springer (Natural Computing Series), 2005.
- [5] C. Lee, S. Park and J. Kim: Topology and migration policy of fine-grained parallel evolutionary for numerical optimization, Proc. of the 2000 Congress on Evolutionary Computation, Korea, 2000.
- [6] M. Konečný: *Paralelné využitie viacerých algoritmov pre hľadanie riešenia*, Bakalárska práca, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, 2016, 94 strán.

# Information system for grammar school

<sup>1</sup>William STEINGARTNER, <sup>2</sup>Alexander PREVUŽŇÁK,  
<sup>3</sup>Mohamed Ali M. ELDOJALI

Department of Computers and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and  
Informatics Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>william.steingartner@tuke.sk, <sup>2</sup>alexander.prevuznak@student.tuke.sk,  
<sup>3</sup>eldojalimohamed@gmail.com

**Abstract** – This paper analyzes existing testing and educational systems (web and desktop oriented). These systems are usually specialized and they can offer insufficient functionality for individual users or in another cases they can offer functionality that is not needed and in the conclusion can disturb users. Paper also describes design and implementation of information system, that provides interface for teachers capable of creating tests and distribute them to the students. They are also able to review outcome of the test of individual student. Test system provides interface for students to fill in test question and to submit them for evaluation.

**Keywords** – ASP.NET, information system, MVC, testing system, web application,

## I. INTRODUCTION

Parts of the education process are slowly shifting to digital form in last few decades. We can see how virtual presentations are daily used as a part of lectures on academic environment. These presentations can be created in various applications across various platforms. As an example may be mentioned Microsoft PowerPoint or L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X. They are universally enough to allow educators to create a presentations according their ideas.

The second branch of education process which is for students more attractive, than the previous one, is e-learning. This technique is very popular because it requires student interaction and in this way it can make enjoyment of learning. There are many different applications to create e-learning for example the programs, that are based on desktop applications and are more suitable for creating one-off tests intended primary for popularization and educational needs of younger students. Web based applications are more suitable for testing many students at once. Such a form of testing not only picks up the answers, but can also evaluate them and saves teachers time. It also prevents teachers from evaluating students subjectively.

The web software for e-learning is very various. In most cases, they are not universally enough, but there exist some of them that contain too many functions that user does not need and mostly they limit him in his work.

In this case the question arises, whether it would not be more effective to create an own web application for testing students and evaluating their answers. Such an application would be easily configurable and adaptable to the needs and requirements of the school.

It is possible to claim, that these applications will be requested unless a sufficiently modulated solution is available. In this paper we present new information testing system that provides unique set of question types and is sufficiently complex and easy to use and in the same time it is not robust with unwanted functionality.

## II. PROPERTIES AND FUNCTIONALITY OF APPLICATION

As mentioned before a need for own application that will serve for testing purposes arises. In this section we sketch basic functionality needed for run of the application as was requested.

### A. Roles

It is required that system provides limited access to unauthorized people. For this goal the RBAC (Role-Based Access Control) is implemented. A role can be thought of as a set of transactions that a user or set of users can perform within the context of an organization [?].



1) *Teacher*: Teacher is a role that has much more responsibilities and variety of possibilities than its counterpart. Every teacher has to have his own account that he needs access before executing anything substantial. With that account teacher can login into his interface. When logged in he has multiple options to execute. When basic use case is taken into account first thing he needs to do is to create class. When this is done, teacher is able to fill class with students in another interface option. These steps may not be part of actual testing but are important for correct run of whole information testing system. After all this preparations he starts to work on actual tests. At first he needs to create main test with standard information as name of test, number of questions, evaluation points, etc. After that he is able to start working on actual questions. Details about these questions will be described in the next subsection. When he is done with test creation then stage of preparation can be marked as completed. The stage of actual testing starts with an assigning test to the selected classes. After test completion from the side of students, teacher is capable of seeing results for every individual student who participated. Next use case diagram summarizes possibilities of teacher in this information system.

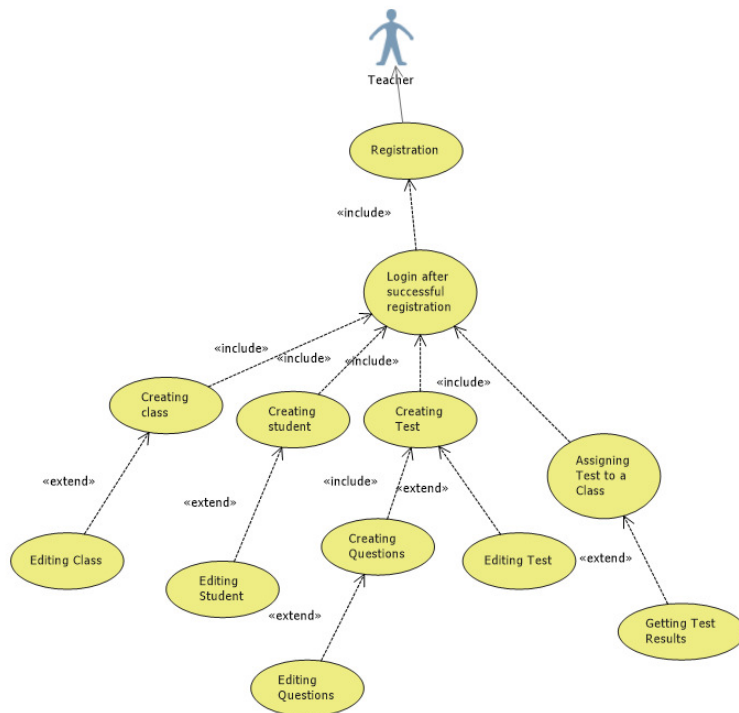


Fig. 1 Use case diagram summarizing teachers main tasks.

2) *Student*: This role is considered to be much more straightforward than teacher. It was decided that there is no need for some kind of account for a student. This system does not need have this robust level. It is sufficient to store only results of test from students and they do not need to manage anything. This is yet another reason why is this new testing system needed as it provides only simple but sufficient possibilities for student to interact with.

After the teacher assigns test to a class, every student receives email. This email contains link to a test, with the unique token that is generated and saved in database. With this token is student capable of opening test assigned to him. Next figure shows example of email with link to a test.

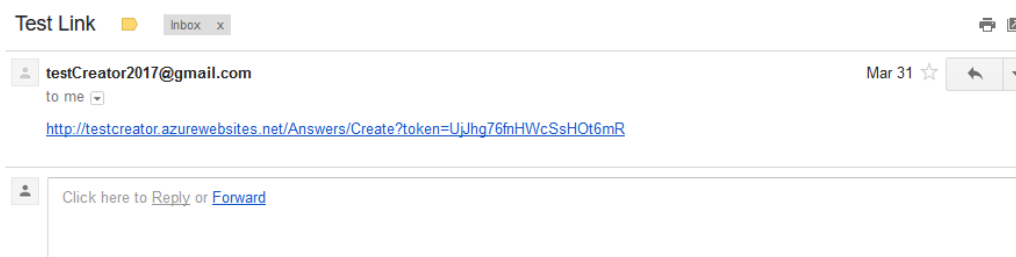


Fig. 2 Example of email with test link.

Link redirects student to a page with a test. Three different things can happen:

- access is denied because test with this token has already been submitted;
- access is denied because time stamp on test has already expired;
- access is granted and student can proceed.

If the third option from previous list occurs, student is able to start answering question. After completion he is capable of submitting his answers and view results. However, viewing results is limited to a group of question that student answered wrong. The Figure 3 depicts an example of such screen.

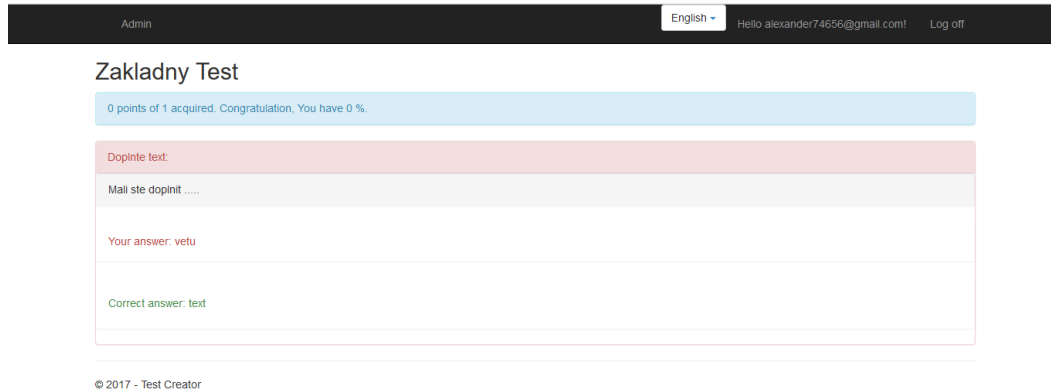


Fig. 3 Result with wrong answers.

This feature should minimize possibility of seeing all correct answers and making full copy (screen shot, page save) of test. Another feature that should help against cheating is introduction of a watcher code on client-side that checks whether the student is not on different tab or window in browser. If there is suspicion that it can be true, the test is aborted and teacher notified. This feature could be upgraded during the next phases and tuned up if it is proven that it is too strict. All these functionalities are graphically displayed in the next use case diagram.

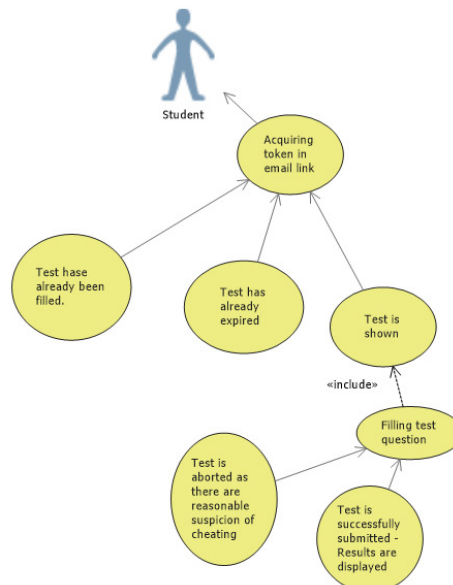


Fig. 4 Use case diagram summarizing teacher's main tasks.

### B. Question Types

As mentioned in previous section, there are several types of question that were required. These types were also a motivation to create new testing system that suits needs of Grammar school of

Table 1  
 Types of questions

Type of question	Example
Closed answer question	Did 2. World War end in 1945 a) Yes b) No
Matching type question	Match Correctly: a) Adolf Hitler 1.USA b) Josif Stalin 2.Germany  3. USSR
Sorting question	Sort chronologically (1 - 3): _ b) Ancient history  _ a) Prehistory _ c) Middle Ages
Multiple Closed answers	Technically similar to first example
Closed answers with word adding	Fill empty spaces:  First world war started in ..... and ended in .....
Question with grouping	Select options that are connected in terms of WWII: a) USA b) Great Britain c) USSR d) Germany

Jan Adam Rayman in Prešov, Slovakia. There is always possibility to extend these types according to needs. Database tables were constructed in a way, that new implementation of types that are not part of the system now should be manageable in reasonable time. This is a precaution as it is known that during real world run of the system some of the requirements can change after input from teachers or students. The Table 1 shows these types with short examples.

### III. IMPLEMENTATION OF APPLICATION

In the development of this information testing system the technologies and practices have been used that are currently considered to be standards in the field of developing web based application.

#### A. Architectural Solutions

The most notable paradigm that has guided entire development is MVC pattern. MVC or Model-View-Controller is an architectural software pattern that utilizes three different levels of logically connected classes when speaking in terms of object-oriented programming or some basic parts if not.

As name of this pattern shows it consists of three fundamental parts. If taken from layer that should contain basic data which are being used during the entire run of the application, this overview must start with Model layer.

This layer usually represents all information needed for other layers. In most cases these data are connected with database in some form. The method this application uses could be described as ORM or in long term Object-Relational mapping. This approach helps map objects in usual object-oriented programming upon databases table and their columns. It represents an easy way for programmers to interact with database as it is accessible usually with calls in used programming language. Further implementation of this approach is explained in the subsection Programming Language.

Controller is the second layer of MVC pattern. It basically handles the two-way communication between other two layers. It operates with all data that comes from model layer, changes, deletes and reads them or can do basically any complex operation with them. It can be said that controller is responsible for taking and interpreting the input for the user [?] Controllers are usually splitted into smaller methods that are accessible in a form of GET or POST calls from users usually via web browser.

The last part of the pattern is view. It is practically a presentation layers that essentially shows data in some kind of graphical form to the users. It also provides some kind of input that allows users to interact with the rest of system. Form of the view can change with used technology. By means of regular MVC without use of front-end framework it can be presented as normal web page with HTML code styled with help of CSS and JavaScript or its libraries like jQuery. Another form of view presentation can be achieved with use of front-end framework. In this case view commonly consists of JSON objects that are processed by said frameworks and create visual interface for users.

### B. Programming language

There are many possibilities in developing of web application in today's world. Programmers can choose between multiple server-side and client-side solutions. According to the statistics obtained from W3Techs - World Wide Web Technology Surveys items in the Ttable 2 are most used server-side programming languages at the moment.

Table 2  
Share of server-side programming languages [?]

Programming language	Share (%)
PHP	82.6
ASP.NET	15.1
Java	2.6
static files	1.5
ColdFusion	0.6
Ruby	0.4
Perl	0.4
JavaScript	0.4
Python	0.2
Erlang	0.1

Another server-side languages that have less than 0.1% share are Miva Script, Lasso, Lua, Scala, Tcl, Smalltalk, C++, Haskell, Lisp, Ada [?]. It was decided that most appropriate server-side language for implementation of information system is ASP.NET thanks to the extensive support in form of Integrated Development Environment Visual Studio 2015 from Microsoft. In manner of fact term ASP.NET does not refer to actual programming language, rather to vast sub-framework of Microsoft's .NET framework. It contains many types of projects that can be used.

It provides two major approaches in implementing web based application. More common one is already described MVC pattern that is used in information system implementation. Another approach is type of project called Web Forms. It is derived from desktop based Microsoft technologies Windows Forms and WPF. It can be helpful, when desktop oriented programmer tries to immerse himself into web application programming. It does not provide common web practices like MVC pattern however, and it is not as popular and practical as MVC type of project.

As client-side language was chosen JavaScript library jQuery as it provides sufficient functionality and versatility for this kind of task. The library jQuery is frequently used JavaScript library with support. Bootstrap framework has been used for the purposes of graphical styles in form of CSS classes as it provides simple interface with many built-in options for programmers. Next figure provides example of visuals with Bootstrap library incorporated into application.

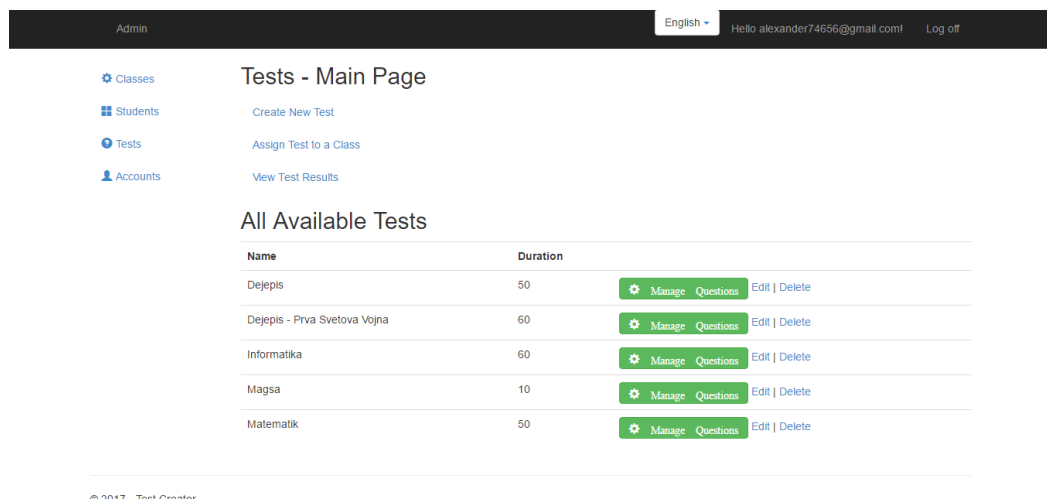


Fig. 5 Example of visuals with Bootstrap.

### C. Data Storage

Virtually every information system needs some kind of data storage. Only few of them can prevail without any form of database as users must be protected of having to know how the data is organized in a computer [?]. This application uses standard SQL type of relational

database. Regarding ASP.NET framework it almost does not matter which relational database will application use. It contains small framework called Entity framework that provides ORM mapping for many database products. Below is list of compatible database product acquired from official Entity framework documentation [?]:

- Microsoft SQL Server,
- SQLite,
- PostgreSQL (Npgsql),
- IBM Data Server (DB2),
- MySQL (Official),
- MySQL (Pomelo),
- MySQL (Sapien Guardian),
- Microsoft SQL Server Compact Edition,
- InMemory (for testing),
- Oracle,
- MyCat.

It was concluded that the best course of action for application would be to use native solution, so the Microsoft SQL server 2014 edition has been chosen. Another advantage of this approach is that basic project of MVC application in IDE Visual Studio 2015 comes with built-in database of this type that is already ready to use and ready to be designed. Database itself is contained in one file with stock name shared with application but with unique addition to name in form of number sequence. Database file format is mdf. This database already contains tables that can be easily adapted into fully functional registration and login mechanisms such as data about roles, users, hash of their passwords etc. A diagram in Figure 6 shows this schema.

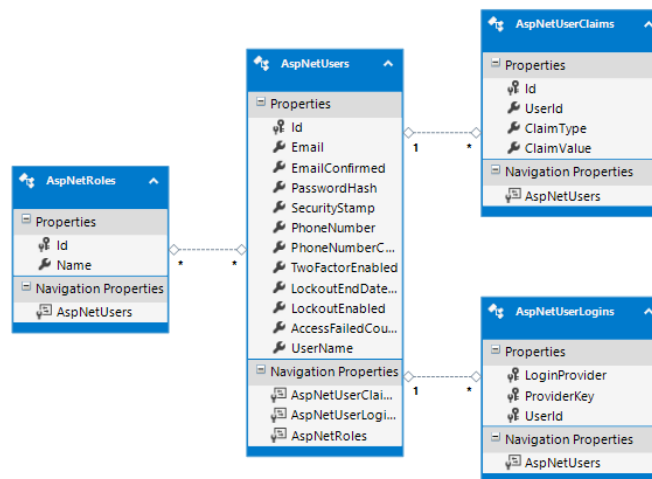


Fig. 6 Tables that helps with login and registration.

Working with database can be made easier with utilizing some approaches that basically exclude each other. It is possible to create, or to be more exact to generate some parts of the application. And it could be said that in all of these approaches database takes major role.

The first approach is Code First approach that suits programmers that do not want to spend time designing SQL tables. They use their code to generate database and mostly do not care about execution. In these cases manual manipulation with database is a little bit tricky as code can easily delete them with code generation.

Another approach is Database First. This approach is focused on creating database tables, that can be quite easily done with SQL Explorer feature built in Visual Studio 2015. This feature provides graphical interface that allows to create tables and relations with ease and efficiently. After database is designed there is possibility to create models from its tables and use them further in application in manner of MVC approach. Generation of models from tables can be applied anytime during development and with little practice will significantly help speed up implementation. Only visible downside of this approach is that generated code can be harder to read and understand. This application was developed with help of this approach.

#### IV. CONCLUSION

Information testing system was implemented as web browser application. Main technology behind the whole system is Microsoft .NET framework. To be more specific its part that is dedicated to development of web application named ASP.NET. Solution utilizes pattern Model-View-Controller that is probably most widely used pattern for developing web based application in the moment [?].

Application was tested on different internet browsers as Mozilla Firefox, Google Chrome, Microsoft Edge, Microsoft Internet Explorer 11 or Safari. Also different operation systems were tested as Microsoft Windows 7, Microsoft Windows 8, Microsoft Windows 10, Linux distribution Ubuntu and Apple OSX.

Used technologies also provided possibility to create design that is reactive and could be used also on mobile devices as smartphones and tablets. Application was tested in this manner on multiple devices with different operation systems. These systems proved that it is possible to use application in mobile environment: Android 4.4 and higher, Windows Phone 8 and higher and Apple iOS 9 and higher.

System is almost prepared for testing in Grammar school of Jan Adam Rayman in Prešov, Slovakia. Application provides interface for creating and assigning tests to students. After completion of a test there is a possibility to see result from individual students. Interface of student is as simple as possible with essentially only one screen that student need. Screen in question is whole test for student to answer. After completion is student able to see result and his wrong answer. Measures against cheating were taken into action such as checking active tabs of student or displaying only wrong answer after test submission. With all these features we can say that we have created efficient information system for testing purposes, which is easily modifiable and provides variety of question type with possibility of extension. System is also not robust and does not contain unnecessary functionality that is usually adding payload to the hardware.

#### ACKNOWLEDGMENT

*This work has been supported by grant. No. 002TUKE-4/2017: "Innovative didactic methods of education process at university and their importance in increasing education mastership of teachers and development of students competences".*

# Komunikačné rozhranie UWB radarovej sensorovej siete

<sup>1</sup>Peter ŠOLTÝS, <sup>2</sup>Miloš DRUTAROVSKÝ

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií  
Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach  
Park Komenského 13, 042 00 Košice, Slovenská republika  
<sup>1</sup>študent 2. stupňa štúdia – inžinierske štúdium, <sup>2</sup>vedúci práce

<sup>1</sup>peter.soltys@student.tuke.sk, <sup>2</sup>milos.drutarovsky@tuke.sk

**Abstrakt** — Článok opisuje úzkopásmové bezdrôtové komunikačné rozhranie vytvorené pre sensorovú sieť tvorenú UWB radarmi. Hlavným cieľom je vysvetliť základné princípy navrhnutého časového multiplexu ako aj spôsob implementácie pomocou mikrokontroléra ADuCRF101 s integrovaným rádiovým modulom. Komunikácia v navrhutej sensorovej sieti využíva SRD (Short Range Devices) pásmo na frekvencii 868 MHz a je tvorená topológiou s centrálnym uzlom. Centrálny uzol koncentruje dáta pre ďalšie spracovanie a zobrazenie. V závere sú tiež prezentované výsledky dosiahnuté pri optimalizácii pasívneho chladenia realizovanej riadiacej elektroniky sensorového uzla.

**Kľúčové slová** — ARM, ADuCRF101, UWB radar, UWB senzor

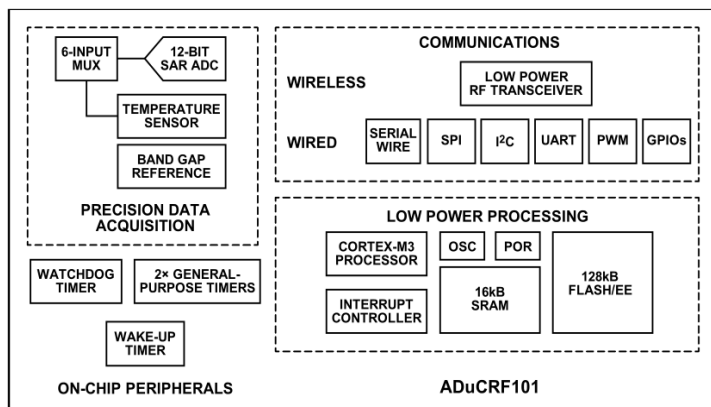
## I. ÚVOD

Bezdrôtová komunikácia je už súčasťou každodenného života, zjednodušuje a zrýchľuje inštaláciu systémov. Tieto výhody jednoduchej manipulácie sa dnes využívajú prakticky vo všetkých oblastiach života. Výhody bezdrôtovej komunikácie sa snažíme využiť aj v UWB sensorovej sieti, čomu sa venuje táto práca. V ďalších častiach opisujeme návrh, princípy a implementáciu bezdrôtovej siete vytvorenej pre sensorové uzly tvorené UWB radarmi. Vytvorený komunikačný protokol je implementovaný pomocou mikrokontroléra ADuCRF101 [1] s integrovaným interným rádiovým (RF) modulom. Navrhnuté riešenie šetrí požadovanú šírku pásma použitím časového multiplexu, čo vyžaduje komplikovanejší spôsob riadenia.

## II. MIKROKONTROLÉR ADUCRF101 S RF KONEKTIVITOU

V tejto práci je použitý mikrokontrolér firmy Analog Devices ADuCRF101 [1] založený na jadre Cortex-M3 firmy ARM. Je vybavený veľkým množstvom periférnych obvodov, čo zobrazuje jeho bloková schéma na Obr.1. Taktiež obsahuje 12-bitový A/Č prevodník, čo ho predurčuje najmä k nasadeniu v sensorovej technike. Výhodnou vlastnosťou procesora je integrovaný zavádzač (bootloader), čo znamená že je ho možné naprogramovať aj pomocou sériového rozhrania. No hlavným dôvodom výberu tohto procesora je v puzdre integrovaný rádio-frekvenčný komunikačný modul, spojený s procesorom pomocou internej komunikačnej zbernice SPI. Integrované jadro procesora na frekvencii 16 MHz poskytuje dostatočný výpočtový výkon pre väčšinu aplikácií.

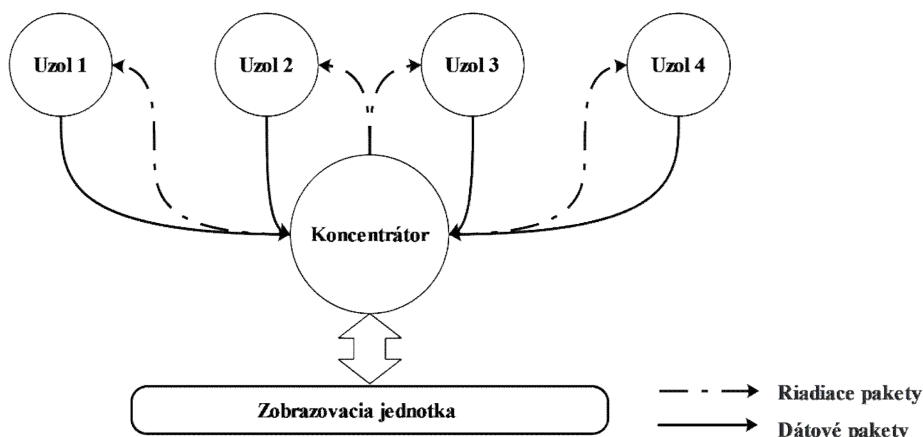
Jeho integrovaný RF modul má maximálny výstupný výkon vysielača +10 dBm pri maximálnej prenosovej rýchlosti 300 kbit/s. Podporuje Manchester kódovanie, premenlivú dĺžku paketov až do 240 bajtov, pri použití dvoj-stavovej FSK alebo GFSK modulácie. Je ho možné použiť v dvoch frekvenčných rozsahoch 862–928 MHz a 431–464 MHz.



Obr. 1 Bloková schéma ADuCRF101

### III. UWB RADAROVÁ SIEŤ

UWB radarová sieť je tvorená uzlami, kde každý pozostáva z troch častí. UWB senzora, jednotky na predspracovanie dát, vytvorenej na báze mikropočítača *raspberry pi* [2] a RF komunikačným modulom tvorenej procesorom ADuCRF101 [1]. Meranie UWB radarovou sieťou znamená použitie viacerých UWB radarových uzlov, pričom je meraná tá istá situácia z rôznych pozícií. Týmto spôsobom sa získavajú dáta z rôznych „pohľadov“ a na základe štatistiky tak vieme zvýšiť presnosť merania. Preto je nutné prenášať merané dáta z viacerých UWB radarových uzlov do centrálného uzla (ďalej koncentrátor), ktorý uskutočňuje finálne spracovanie dát a ich zobrazovanie. Komunikácia má tvar zobrazený na Obr.2, pričom každý uzol siete musí prijímať tiež riadiace správy, pre nastavenie merania.



Obr. 2 Základná schéma komunikácie

### IV. POŽIADAVKY NA RF PRENOS

Pri navrhovaní komunikačného protokolu pre komunikáciu medzi jednotlivými UWB radarmi bolo potrebné dodržať základné požadované parametre:

- minimálna prenosová rýchlosť 6 kbit/s na uzol,
- odhadovaný minimálny počet uzlov 4,
- zaručiť čo najvyššiu spoľahlivosť,
- použiť časový multiplex, kvôli šetreniu šírky frekvenčného pásma,
- časová synchronizácia s hardvérovým riadiacim výstupom.

### V. NÁVRH KOMUNIKAČNÉHO PROTOKOLU

Pre správny návrh komunikačného protokolu, je nutné poznať vlastnosti RF modulu ADuCR101RF. Pre prácu s interným komunikačným RF modulom bola použitá výrobcom poskytnutá knižnica. Pre zabezpečenie integrity dát pri prenose sa využíva hardvérová kontrola pomocou CRC (Cyclic Redundancy Check) [3] súčtu, miesto samo-opravných kódov, čo zjednodušuje spracovanie a návrh. Použitý je pritom prednastavený polynóm  $x^{16}+x^{12}+x^5+1$  [4]. V praxi použitie CRC znamená že paket s nesprávnym CRC je jednoducho zahodený. Preto je



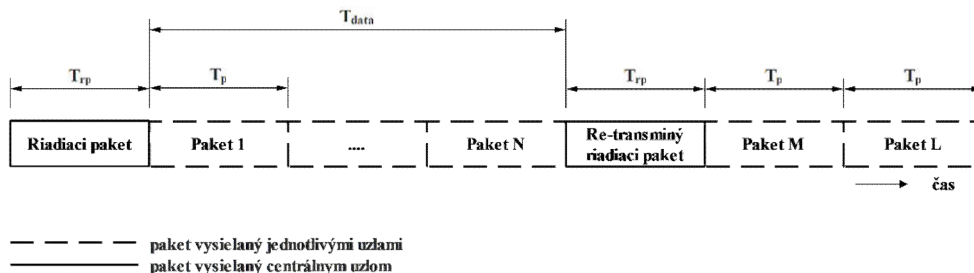
nutné ich znovu preposlať, čo si môžeme dovoliť vďaka dostatočne veľkej rezerve v prenosovej rýchlosti.

Na zabezpečenie príjmu všetkých paketov, je časový multiplex navrhnutý ako zobrazuje Obr.3. Riadiace pakety sú vysielané koncentrátorom s požiadavkou na uzol, s priradeným ID (identifikátorom). Ak vyšle požiadavku na vyslanie nahromadených dát, uzol vysiela dáta bez čakania na potvrdenie prijatia.

Pred začatím vysielania má uzol v pamäti nahromadené pakety (prijaté cez UART). Maximálne však v tomto prípade 20 paketov, z dôvodu obmedzenia dostupnou RAM pamäťou, ktorá má len 16 kbajtov [4], teda  $2*20*240=9600$  bajtov.

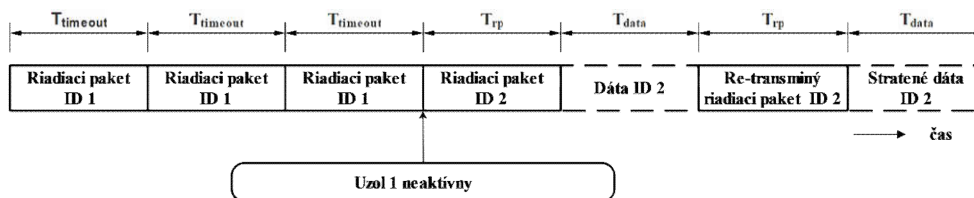
Ak koncentrátor po skončení vysielania určí že chýbajú pakety, tak pošle riadiaci paket na retransmisiu chýbajúcich paketov **M, L, ...**

Vo všeobecnosti všetky časy zobrazené na Obr.3 sú premenlivé, keďže pakety môžu nadobúdať rôznu dĺžku.



Obr. 3 Časová schéma multiplexu s opakovaným vysielaním chybných paketov

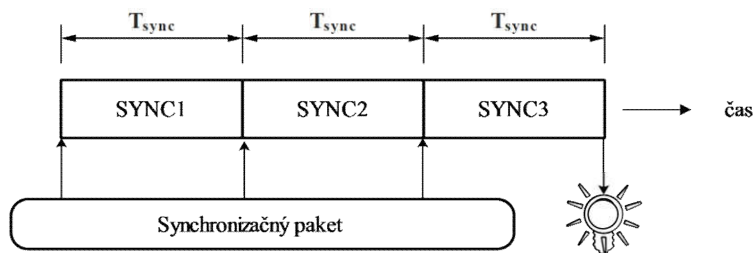
Keďže vždy existuje možnosť že sa budú strácať aj riadiace pakety, koncentrátor ich vysiela dovedy, kým nedostane odpoveď, no najviac tri krát. Uzol reaguje buď zaslaním dát alebo nulového paketu, ktorý znamená že uzol nemá nahromadené žiadne dáta. To je znázornené na Obr.4. Opakované vysielanie riadiacich paketov je uskutočňované s intervalom  $T_{\text{timeout}} = 5 \text{ ms}$ . Po tretej výzve koncentrátor považuje uzol za neaktívny a pokračuje vo vysielaní riadiacich paketov pre ostatné uzly.



Obr. 4 Časová schéma viacnásobného posielania riadiacich paketov

## A. Synchronizácia

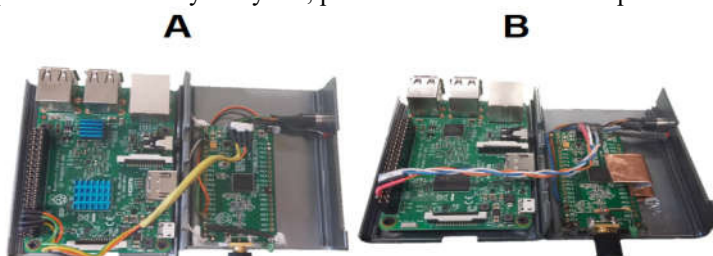
Pri meraní pomocou UWB radarov je dôležité zabezpečiť synchronný začiatok merania. To sa uskutočňuje zmenou logickej úrovne na riadiacom vývode procesora, po prijatí synchronizačného paketu. Aby bola dosiahnutá čo najväčšia spoľahlivosť synchronizácie a čo najmenší časový rozptyl, bola navrhnutá tak, ako zobrazuje Obr.5. To znamená že pri tejto organizácii s viacnásobným vysielaním synchronizačného paketu, v konštantných časových rozstupoch  $T_{\text{sync}} = 1.2 \text{ ms}$ , postačuje ak je prijatý jeden synchronizačný paket. Ten vo svojom poradovom čísle nesie aj informáciu o zostávajúcom čase do synchronizácie (zmeny logickej úrovne na synchronizačnom vývode). Čas zostávajúci do synchronizácie si každý uzol vypočíta ako  $T_{\text{synchronize}} = T_{\text{sync}} * N$ , kde  $N$ = poradové číslo synchronizačného paketu), podľa čoho si každý uzol nastaví čas spustenia merania. Táto schéma synchronizácie sa spúšťa až po ukončení posielania dát.



Obr. 5 Časová schéma synchronizácie

## VI. KONŠTRUKCIA UZLOV

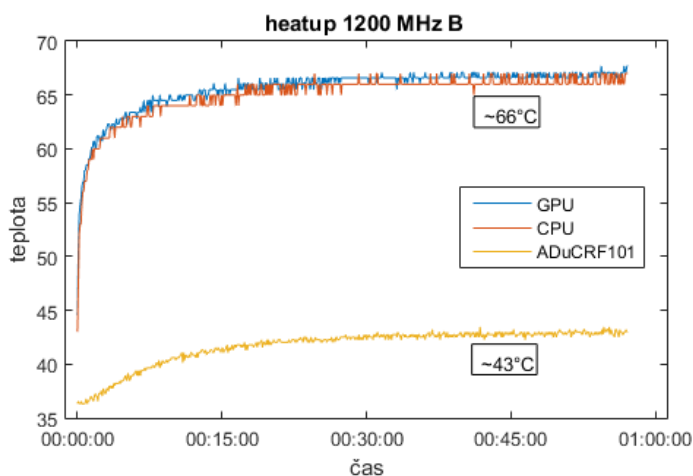
Každý uzol pozostáva z UWB radaru a jednotky na spracovanie dát. Každá takáto jednotka a koncentrátor je tvorená mikropočítačom *Raspberry Pi* a komunikačným procesorom ADuCRF101. Tie sú spoločne umiestnené v kovovom obale vetrania, ich konštrukcia je zobrazená na Obr.6. Fakt, že kovová krabička nie je vetraná so sebou prináša problém potenciálneho prehrievania a preto pre overenie boli urobené termálne merania. Pre porovnanie boli vytvorené dve verzie. Verzia **A** so štandardným chladičom a verzia **B** tepelným premostením procesora s kovovým krytom, prostredníctvom medeného plechu.



Obr. 6 Spoločne zapuzdrený ADuCRF101 a *Raspberry Pi*, dve verzie chladenia

Na záznam teploty bol napísaný skript, ktorý meral teplotu procesora v *Raspberry Pi* a teplotu v procesoroch ADuCRF101. Na simuláciu prevádzky boli použité tri programy, ktoré mali za úlohu využiť rôzne množstvo výpočtových prostriedkov procesora v *Raspberry Pi*. Pre deterministickú záťaž bol napísaný jednoduchý program **heatup** pracujúci na štyroch jadrách, pre štandardnú záťaž program **stress—cpu4** a pre maximálne vyťaženie procesora bol použitý **cpuburn-a54**.

Priebeh teploty je zobrazený na Obr.7 kde je vidno že postupne sa teplota stabilizuje. V prípade že sa teplota stabilizuje na hodnote 80°C, znamená to že operačný systém prestáva prideliť výpočtový čas aplikáciám a tým nie je možné využiť všetky dostupné prostriedky procesora. Tieto merania boli merané pre dve taktovacie frekvencie procesora 700 a 1200 MHz



Obr. 7 Priebeh nábehu teploty pre procesory v senzorovom uzle

Počas merania teploty bola zároveň meraná spotreba elektrickej energie uzlov. Všetky tieto merania sú zohľadnené v tabuľke 1 a tabuľke 2.

Tab 1 namerané výsledky pre taktováciu frekvenciu procesora 700 MHz

Program	Spotreba	Stabilizovaná teplota A	Stabilizovaná teplota B
heatup	2,6 W	65 °C	56,5 °C
stress --cpu 4	2,6 W	65 °C	57 °C
cpuburn-a54	4,8 W	80 °C	80 °C

Tab 2 namerané výsledky pre taktováciu frekvenciu procesora 1200 MHz

Program	Spotreba	Stabilizovaná teplota A	Stabilizovaná teplota B
heatup	3,6 W	80 °C	66,5 °C
stress --cpu 4	3,6 W	80,5 °C	67 °C
cpuburn-a54	8,1 W	84 °C	80 °C

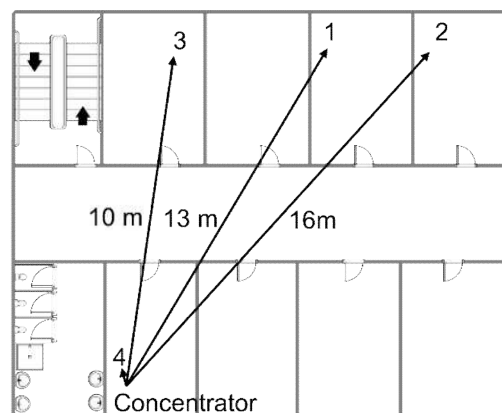
Vplyvom dosiahnutia medznej teploty 80°C, operačný systém striedavo prideloval výpočtový čas aplikáciám, počas toho bola nameraná priemerná spotreba pre A 3,6 W a pre B 4,1 W. Z toho vyplýva že ak priemerná spotreba nepresiahne tieto hodnoty, tak ani aplikácie nebudú obmedzované operačným systémom.

### VII. EXPERIMENTÁLNE VÝSLEDKY KOMUNIKÁCIE

Pre otestovanie bezdrôtovej komunikácie bola vytvorená aplikácia pre generovanie, vysielanie a kontrolovanie prichádzajúcich dát. Aplikácia na kontrolu generovala pseudonáhodné dáta, čím bola simulovaná čo najreálnejšia prevádzka. Výstupom tejto aplikácie sú štatistiky vyhodnocujúce spoľahlivosť prenosu. Pre simuláciu reálnej prevádzky boli uzly rozložené po budove ako je zobrazené na Obr. 8. Množstvo posielaných dát za sekundu bolo porovnateľné s predpokladanou prevádzkou. Výsledné štatistiky v tabuľke 3 sú z testu trvajúceho 272 minút.

Tab 3 Štatistické výsledky z meraného scenára na Obr. 8

Uzol	Nedoručené/ všetky pakety	Preposielané/ všetky pakety
1	0,027 %	1,7 %
2	0,284 %	5,9 %
3	0,03 %	1,95 %
4	0,02 %	0,4 %



Obr. 8 Rozloženie uzlov pri meraní

### VIII. ZÁVER

Cieľom článku bolo oboznámiť čitateľa so základným princípom navrhutej a implementovanej komunikácie medzi jednotlivými uzlami siete a koncentrátorom. Tiež sú v práci analyzované problémy prehrievania uzlov siete a možnosti zlepšenia pasívneho chladenia upraveným konštrukčným riešením. Vytvorené riešenie je zapuzdrené a je pripravené na nasadenie do reálnej prevádzky.

### POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-15-0692.

### LITERATÚRA

- [1] Precision Analog Microcontroller with RF Transceiver, ARM Cortex-M3, Analog Devices, 4 2014, rev. A.
- [2] Raspberry pi documentation. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/documentation/>
- [3] J. Geluso, "Crc16-ccitt," 2001-2007, <http://srecord.sourceforge.net/crc16-ccitt.html>. [Online]. Available: <http://srecord.sourceforge.net/crc16-ccitt.html>
- [4] ADuCRF101 User Guide, Analog Devices, 4 2014, rev. A.

# Prehľad metód analýzy dát zameraných na kardiovaskulárne ochorenia

<sup>1</sup>Zuzana VANTOVÁ, <sup>2</sup>Ján PARALIČ

<sup>1,2</sup> Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>zuzana.vantova@tuke.sk, <sup>2</sup>jan.paralic@tuke.sk

**Abstract** — Ako uvádza World Health Organization (WHO, Svetová zdravotnícka organizácia), počas niekoľkých posledných dekád sú najčastejšou príčinou úmrtí ľudí kardiovaskulárne ochorenia (KVO). Mnoho vedcov sa pokúša analyzovať rôzne medicínske údaje z rôznych lekárskejších oblastí, často z kardiológie, s cieľom klasifikovať pacientov (ne)trpiacich KVO alebo predpovedať zvýšené riziko vzniku akútneho koronárneho syndrómu. Tieto výskumy využívajú rôzne metódy dolovania v dátach s cieľom vytvoriť model na predpovedanie určitého rizika alebo klasifikáciu pacientov trpiacich KVO do určitých tried. Tento článok ponúka prehľad jednotlivých výskumov a najbežnejšie využívaných metód na analýzu údajov z medicínskej oblasti. Zároveň zdôrazňuje potrebu venovať sa tejto problematike.

**Keywords** — dolovanie v dátach, kardiovaskulárne ochorenia, koronárne ochorenie srdca

## I. ÚVOD

Najbežnejšou príčinou úmrtí ľudí sú v posledných rokoch práve kardiovaskulárne ochorenia (KVO). WHO uvádza, že KVO sú číslom 1 v celosvetovom meradle úmrtí populácie. Odhaduje sa, že v roku 2012 zomrelo 17.5 milióna ľudí na KVO, čo predstavuje 31% zo všetkých úmrtí v danom období. Z týchto úmrtí bolo, odhadom, 7.4 milióna spôsobených koronárnou chorobou srdca a 6.7 milióna mozgovou príhodou [1]. V roku 2015 ischemické ochorenie srdca (IOS, jeden z typov KVO [2]) a mozgová príhoda (môže byť dôsledkom aterosklerózy alebo iného typu KVO) boli najväčšími zabijakmi našej populácie. WHO uvádza, že kombinácia týchto ochorení zabila 15 miliónov ľudí. IOS spolu s mozgovou príhodou sú globálne najbežnejšou príčinou úmrtí v období posledných 15 rokov [3].

Analýza medicínskych údajov z oblasti kardiológie a KVO je veľmi dôležitá výskumná téma s pomerne širokým rozsahom dopadu. To podčiarkuje aj fakt, že analýze v tejto oblasti sa jednotliví výskumníci venujú už pomerne dlhý čas.

## II. KARDIOVASKULÁRNE OCHORENIA

Mnoho z publikovaných výsledkov rôznych výskumov sa venuje medicínskej oblasti a pomerne často sa zameriavajú na KVO. KVO sú klasifikované ako ochorenia srdca a srdcových tepien. KVO a ich komplikácie (chronické alebo akútne) vznikajú oklúziou (uzáverom) koronárnej artérie, kedy dochádza ku ischemii (nedostatočnému prekrveniu) myokardálneho (srdcového) svalu. Túto skupinu ochorení môžeme klasifikovať na

1. akútne ischemické ochorenia koronárných ciev, kam patria: (a) infarkt myokardu; (b) nestabilná angína pectoris; (c) náhla srdcová smrť;
2. chronické ischemické ochorenia ciev, kam patria: (a) stabilná angína pectoris; (b) mikrovaskulárna angína pectoris; (c) Prinz metal angína pectoris; (d) Syndróm X a ďalšie.

Ateroskleróza je zápalový, proliferačný a degeneračný proces na cievach, pričom progres aterosklerózy na koronárných cievach môže viesť ku akútne koronárnemu syndrómu. V súčasnej odbornej literatúre sa uvádzajú viaceré rizikové faktory aterosklerózy, ktoré je možné rozdeliť do 2 skupín:

- ovplyvniteľné (hypertenzia, fajčenie, zvýšená hladina LDL cholesterolu a pod.),
- neovplyvniteľné (genetická predispozícia).

Typickým a hlavným klinickým symptómom je bolesť na hrudi (tlak, zvieravý alebo bodavý typ bolesti po fyzickej aktivite) [2][4].

### III. STAV PROBLEMATIKY

V úvode predchádzajúcej kapitoly sme uviedli, že výskumu medicínskych údajov sa venuje viacero autorov. Mnoho autorov skúma vplyv rizikových faktorov na KVO. Pomerne známym dátovým setom obsahujúcim viacero rizikových faktorov spôsobujúcich KVO je Clevelandský dátový set, ktorý vznikol v roku 1988 vo V.A. Medical Center, Long Beach and Cleveland Clinic Foundation pod vedením Roberta Detrana, M.D., Ph.D. Tento dátový set obsahuje 303 záznamov pacientov so 76 atribútmi (rizikové faktory, laboratórne vyšetrenia). Táto dátová vzorka pacientov je voľne dostupná na serveri UCI Machine Learning Repository. Spolu s ním sú dostupné aj ďalšie dátové sety, no tieto nemajú až také široké zastúpenie v nasledujúcom prehľade výsledkov výskumov venujúcich sa KVO a ich rizikovým faktorom.

Prvý výskumný príspevok, ktorý uvádzame a pracuje s uvedeným Clevelandským dátovým setom publikovala skupina autorov okolo R. El-Bialy [5]. Okrem uvedeného dátového setu *Cleveland*, skupina autorov pracovala aj s ďalšími voľne dostupnými dátovými setmi: *Hungarian*, *Long Beach VA* a *Statlog*. Prvým krokom výskumu bolo vykonanie experimentov na všetkých dátových setoch a následne na základe výsledkov, autori vybrali 5 najdôležitejších atribútov z každej vzorky dát. Po tomto kroku pristúpili k spojeniu dátových setov dohromady, čím sa ich dátová vzorka zväčšila a na nej vykonávali ďalšie experimenty. Experimenty, na ktoré sa skupina výskumníkov okolo R. El-Bialy zamerala, boli *Fast decision tree (FDT)* a *Rozhodovací strom C4.5*. Získané výsledky uvádzame v Tabuľka 1 a Tabuľka 2.

Tabuľka 1  
 Presnosť FDT a C4.5 na jednotlivých dátových setoch

Dátový set	Presnosť (%)	
	C4.5	FDT
Cleveland	78.54	77.55
Hungarian	78.57	78.23
Long beach VA	71.5	69.5
Statlog project	76.6	76.6

Tabuľka 2  
 Porovnanie presností FDT a C4.5 na pôvodných a spojenom dátovom sete

DT	Priemerná presnosť oddelených dátových setov (%)	Presnosť spojených dátových setov s najlepšími atribútmi (%)
C4.5	76.3	77.5
FDT	75.48	78.06

Ako je z uvedených tabuliek zrejme, spojenie dátových setov neprineslo žiadne výrazné zlepšenie v presnosti modelov. Môžeme akurát konštatovať, že najvyššiu presnosť modelu na spojených dátových setoch poskytuje v konečnom dôsledku FDT, zatiaľ čo pri pôvodných dátových setoch lepšiu presnosť dosahuje algoritmus C4.5.

Ďalšia skupina výskumníkov [6] sa taktiež zamerala na clevelandský dátový set, ale až po tom, čo uskutočnili výskum na vlastných dátach. Spolupracovníci L. Vermu sa zamerali na vytvorenie modelu pre diagnostikovanie koronárneho ochorenia ciev (KOC) a na identifikáciu primárnych rizikových faktorov spôsobujúcich KOC. K vytvoreniu *Hybridného modelu*, ako ho autori sami nazvali, dospeli využitím viacerých metód. Vývoj prebiehal v niekoľkých fázach. V prvej fáze výskumníci pracovali so všetkými atribútmi dát, ktoré získali z oddelenia kardiológie z Medical College, Shimla, India. Ako prvú z metód použili viacvrstvový Perceptron (MLP), pomocou ktorého dosiahli presnosť 77%. Následne sa autori zamerali na multinominálnu logistickú regresiu (MLR, presnosť 83.5%), Fuzzy unordered rule induction algorithm (FURIA, presnosť 77.9%) a algoritmus rozhodovacieho stromu C4.5 (presnosť 77.3%). Po tomto kroku, kde vykonané testy zahŕňali všetky atribúty, autori pristúpili k selekcii najdôležitejších atribútov, ktoré zodpovedajú aj rizikovým faktorom KOC. Vyčlenenie najdôležitejších atribútov prebiehalo pomocou korelácií (z angl. correlation based feature subset, CFS), ako aj s optimalizáciou časticových rojov (z angl. selection with particle swarm optimization, PSO), k-means zhlukovania a klasifikácie, prípadne kombinácie všetkých uvedených. Tento výber metód a prístupov pomohol autorom zvýšiť presnosť jednotlivých modelov. Výsledné presnosti sú uvedené v nasledujúcej Tabuľka 3.

Po tom, čo skupina výskumníkov vytvorila *Hybridný model*, chceli ho otestovať aj na známom Clevelandskom dátovom sete. Zo 14 atribútov sa autori zamerali len na 7 najdôležitejších, ktoré získali ako výsledok redukcie pomocou CFS, PSO, k-means a klasifikácie. Presnosť modelu bola 90.28%.

Tabuľka 3  
Presnosť výsledkov vývoja Hybridného modelu

Metódy	Presnosť (%)		
	Všetky atribúty	CFS + PSO + Klasifikácia	CFS + PSO + k-means + Klasifikácia
MLP	77.0	79.7	84.11
MLR	83.5	84.17	<b>88.4</b>
FURIA	77.9	80.29	82.8
C4.5	77.3	77.9	80.68

Ďalší výskum venujúci sa KVO spracovával údaje z Rajaie Cardiovascular, Medical and Research Center v Teheráne [7]. Tento dátový set bol nazvaný Z-Alizadeh Sani dátový set a obsahuje údaje o 303 pacientoch s 54 príznakmi zo 4 základných skupín:

1. Demografické (vek, váha, pohlavie, cukrovka, fajčiar, ...),
2. symptómy a vyšetrenia (krvný tlak, pulz, ...),
3. elektrokardiogram,
4. laboratórne výsledky a echo (hladiny cholesterolov HDL a LDL, K, Na, ...).

Autori sa zamerali na využitie algoritmu C4.5 s cieľom klasifikovať pacientov do 2 skupín:

1. pacienti so stenózou (zúžením) ciev,
2. pacienti bez prítomnosti stenózy ciev.

Okrem tohto cieľa sa skupina výskumníkov zamerala na predikciu nevyhnutnosti vykonania angiografie pri vysokorizikových prípadoch. V prvej fáze výskumu, Alizadehsani s jeho tímom použili dáta so všetkými atribútmi. Následne pomocou baggingu získali vyššiu presnosť modelu (78.51%). Okrem toho autori pomocou informačného zisku a Gini indexu vybrali najdôležitejšie atribúty. Najvyššia presnosť klasifikačného modelu, 79.54%, bola dosiahnutá použitím algoritmu C4.5, baggingu a využitím informačného zisku pre výber atribútov.

Alizadehsani so svojím tímom [8] na Z-Alizadeh Sani dátovom sete vykonali aj ďalšie experimenty s cieľom klasifikovať pacientov do triedy CAD (pacienti s kardiovaskulárnym ochorením) alebo do normálnej triedy (zdraví pacienti). Výskumný tím sa zamerl na fázu predspracovania, najmä na selekciu atribútov za pomoci Gini indexu, informačného zisku alebo metódy podporných vektorov (SVM). Taktiež vytvorili niekoľko nových premenných, napríklad LAD (Left Anterior Descending), LCX (Left Circumflec) a RCA (Right Coronary Artery). S cieľom klasifikovať pacientov do skupín sa autori zamerali na viacero metód: Naivný Bayes, Sequential Minimal Optimization (SMO), SMO s baggingom a neurónové siete (NNs). Metódy aplikovali na rôzne predspracované dátové sety:

- 1. skupina atribútov: všetky originálne atribúty bez 3 nových atribútov,
- 2. skupina atribútov: všetky originálne atribúty s 3 novými atribútmi,
- 3. skupina atribútov: vybrané atribúty z originálneho dátového setu bez 3 nových atribútov,
- 4. skupina atribútov: vybrané atribúty z originálneho dátového setu s 3 novými atribútmi.

Najlepšie dosiahnuté výsledky boli 93.4% pre SMO s baggingom, 75.51% pre Naivného Bayesa, 94.08% pre SMO a 88.11% pre NNs na 4. skupine atribútov. Všetky výsledky boli overené pomocou 10-násobnej krížovej validácie a autori vybrali najdôležitejšie atribúty: *typická bolesť hrude, Region RWMA2, vek, Q vlna a ST elevácia*.

Rovnakému dátovému setu sa venovala aj Yadavova výskumná skupina a zamerala sa na optimalizáciu algoritmu Apriori pomocou transakčnej redukčnej metódy (TRM) [9]. Nový algoritmus zmenšil veľkosť setu kandidátov a počet transakčných záznamov v databáze. Autori to porovnali s inými tradičnými metódami a získali 93.75% presnosť. Pomocou ďalších metód získali nasledujúce presnosti: SMO (92.09%), SVM (89.11%), C4.5 (83.85%) a Naivný Bayes (80.15%), NNs s rôznym počtom skrytých vrstiev (priemer 74.06%).

To, že KVO ako také sú v centre záujmu viacerých výskumných skupín dokazuje aj výsledok Atkova a jeho tímu [10]. Títo výskumníci klasifikovali pacientov do 2 skupín:

1. pacienti trpiaci KVO,
2. pacienti netrpiaci KVO.

Atkovov tím získal dáta z Central Clinic Hospital No. 2 of Russian Railways JSC, ktoré obsahujú informácie o pacientoch hospitalizovaných kvôli diagnostikovaní KVO pomocou koronárnej angiografie. Na klasifikáciu pacientov autori použili doprednú neurónovú sieť s 2 skrytými vrstvami, pričom použili 10 atribútov. Presnosť, ktorú týmto algoritmom dosiahli bola 78%. Atkov vyskúšal niekoľko ďalších nastavení, ale ani v jednom prípade nedosiahol vyššiu presnosť.

Jedným z typov KVO, ischemickým ochorením srdca (IOS) sa zaoberá článok, ktorého

cieľom bola identifikácia rizikových faktorov IOS [11]. Autori zvolili netradičný prístup a namiesto toho, aby pomocou rôznych metód a prístupov identifikovali tie najvýznamnejšie faktory, tak postupne odoberali z množiny atribútov náhodne vytipované a sledovali ako klesala presnosť modelu. Dáta, s ktorými tento tím výskumníkov pracoval, boli získané z Madras Medical College v Chennai v Indii a na vytvorenie modelu autori využili viacvrstvový Perceptron. Pri použití všetkých atribútov, model poskytoval 70% presnosť pre tréningovú množinu dát (veľkosť tréningovej množiny bola 70%) a 69% presnosť pre testovaciu množinu (veľkosť 30%). V ďalšom kroku Rajeswari a jeho kolektív odobrali atribút „vek“ a sledovali pokles presnosti na 63% pre tréningovú množinu a 58% pre testovaciu množinu. Podobne pokračovali v ďalších krokoch, pričom napríklad v druhej iterácii bol navyše odobraný atribút „pohlavie“. Autori celkovo vykonali 6 iterácií a touto redukciou atribútov autori získali 12 najlepších príznakov pre diagnostikovanie IOS, medzi ktoré patria aj vek a pohlavie, čo dokazuje aj odborná literatúra [2].

#### IV. NAJČASTEJŠIE POUŽÍVANÉ METÓDY

Z predchádzajúcej kapitoly je zjavné, že na analýzu dát z medicínskej oblasti sú využívané viaceré metódy. V tejto kapitole sa pokúsime podať stručný prehľad tých najviac používaných. Väčšina výskumov sa riadi metodológiou CRISP-DM. CRISP-DM definuje 6 hlavných fáz [12][13]. Prvá fáza, pochopenie obchodného cieľa, sa zaoberá špecifikáciou obchodného / aplikačného uplatnenia výsledku analýzy dát. Nasleduje pochopenie dát, ktoré zahŕňa zhromažďovanie potrebných údajov pre zadanú úlohu a končí detailným popisom dát. Na základe tejto špecifikácie si výskumná skupina môže vybrať príslušné metódy a potrebné zdroje. Príprava dát je najkomplexnejšia fáza a vyznačuje sa pomerne veľkou časovou náročnosťou, 60% až 70% z celkovej doby. Táto fáza zahŕňa zhromažďovanie údajov, čistenie, redukciu alebo transformáciu dát. Výsledkom predspracovania dát sú dáta pripravené pre modelovanie a aplikáciu rôznych algoritmov. Výsledky z fázy modelovania prechádzajú do fázy vyhodnotenia pomocou vopred definovaných metrík. Navyše sa hodnotí aj splnenie obchodných cieľov zadanej úlohy. Poslednou fázou CRISP-DM je nasadenie vytvorených modelov do reálnej prevádzky.

Asi najširšie zastúpenie zo všetkých metód majú rozhodovacie stromy a neurónové siete. Obe uvedené metódy spadajú do väčšej skupiny klasifikačných metód. Ich cieľom je zaradiť dáta do jednej z cieľových tried.

##### A. Rozhodovacie a regresné stromy

Metódy rozhodovacích stromov (RS) sú veľmi často používané nie len v medicínskej doméne. Dôvodom je jednoduchá interpretovateľnosť získaných znalostí. Výstup algoritmu RS má formu stromu, avšak koreňový uzol je na vrchu grafického výstupu a listové uzly (predstavujúce cieľové triedy) sú na spodku grafického výstupu. V strede grafického výstupu sa nachádzajú medziľahlé uzly, ktoré reprezentujú testy na jednotlivé atribúty [14].

Najčastejšie využívaným je algoritmus C4.5, ktorý využíva pomerový informačný zisk pre výber testovacích podmienok. Algoritmus C4.5 bol následníkom algoritmu ID3 (Iterative Dichotomizer 3) a oba algoritmy boli vytvorené Rossom Quinlanom. Algoritmus C4.5 je však komplexnejší ako ID3, ktorý pre selekciu kritérií využíva informačný zisk. C4.5 navyše dokáže pracovať so spojivými premennými a chýbajúcimi hodnotami [15].

Algoritmus C4.5 je využitý aj vo vedeckých príspevkoch Alizadehsani a kol. [7] a El-Bialy a kol. [5]. Alizadehsani s tímom pracovali s dátami z Rajaie Cardiovascular, Medical and Research Center v Teheráne a dosiahli presnosť 78.54%, pričom využili bagging a počet atribútov obmedzili na 20. El Bialy a kol. dosiahli použitím C4.5 presnosť 78.57% na Hungarian dátovom sete. Vylepšením algoritmu C4.5 je RS C5.0. Ponúka rýchlejšiu generáciu modelu, menšiu spotrebu pamäte, menšie stromy s podobnou informačnou hodnotou, váženie a podporu boostingu [17]. Príkladom regresných stromov je algoritmus neparametrickej triedy CTree. Tento algoritmus nepoužíva pre výber atribútov klasické prístupy pomocou Gini indexu alebo informačného zisku, ale vyberá atribúty s mnohými možnými rozdeleniami alebo mnohými chýbajúcimi hodnotami [18]. V medicínskych aplikáciách sa často používa aj metóda CART uvedená prvýkrát v [23], ktorá zahŕňa tak klasifikačné ako aj regresné stromy.

Na vylepšenie výsledkov rozhodovacích stromov (ale aj iných typov klasifikátorov) sa zvyknú využívať súbory klasifikátorov (ensemble methods) ako boosting (každú nasledujúci klasifikátor v súbore vytvára so zameraním sa na chybné klasifikované príklady predchádzajúceho klasifikátora) a bagging (viaceré klasifikátory vytvárané na rôznych vzorkách tréningovej množiny s nahradením). Špeciálnym prípadom baggingu v kontexte rozhodovacích stromov je v poslednej dobe stále častejšie s výbornými výsledkami používaná metóda random

forest [24], ktorá vytvára rozhodovacie stromy na rôznych vzorkách (s nahradením) trénovacej množiny, ale pre jednotlivé rozhodovacie stromy v súbore klasifikátorov využíva rôzne (náhodne generované) podmnožiny atribútov stanovenej veľkosti.

### B. Neurónové siete

Ľudský mozog pozostáva z miliónov neurónov, ktoré sú medzi sebou navzájom pospájané. Neurónové siete (NNs) sa pokúšajú túto štruktúru a topológiu napodobniť. Základným typom NNs sú NNs s pravidelnou štruktúrou, napríklad (dopredná) viacvrstvová NN. Tento typ NN má 3 vrstvy: *vstupná vrstva*, *skrytá vrstva* a *výstupná vrstva* [19]. Vo všeobecnosti je jedná skrytá vrstva dostačujúca na aproximáciu hľadanej funkcie, ale niekedy je kvôli lepším výsledkom vhodnejšie použiť dve skryté vrstvy NNs ktoré už dokážu aproximovať ľubovoľnú funkciu [20]. Tento typ NN sa nazýva viacvrstvový perceptron (MLP) [21]. Vstupné neuróny získavajú súbor hodnôt a prenášajú ich na neuróny v skrytej vrstve. Vstupné hodnoty sú použité na naučenie nelineárnej funkcie a výsledok sa odosiela na neuróny výstupnej vrstvy. MLP môže mať niekoľko skrytých vrstiev. Existuje priama úmera medzi množstvom vrstiev a zložitou algoritmu. NNs sú výkonným nástrojom pre úlohy dolovania v dátach, ale majú jednu veľkú nevýhodu. Interpretácia modelov založených na NNs je problematická a v oblasti medicíny sa NNs preto nevyužívajú tak často, ako napríklad vyššie uvedené RS, nakoľko lekár pre stanovenie diagnózy musí poznať všetky okolnosti a zvážiť všetky aspekty stavu pacientov.

Tento typ NN použil aj tím Atkova [10], pričom dosiahli 94% presnosť s 2 skrytými vrstvami a 10 faktormi. Atkov a kol. sa pokúšali pridať alebo odobrať viacero faktorov, ale presnosť naučeného modelu viac nestúpala. Ďalšia analýza, ktorá sa zaoberá použitím algoritmu MLP je uvedená v práci Rajeswariho [11]. Najvyššia presnosť, aká bola dosiahnutá v tejto štúdiu, sa pohybovala na 69% pre testovaciu množinu so všetkými atribútmi. Cieľom použitia MLP bola identifikácia najdôležitejších rizikových faktorov vedúcich k ischemickému ochoreniu srdca. NNs boli použité aj vo výskumoch Alizadehsaniho [8] a Yadava [9]. Alizadehsani so svojim tímom aplikovali NNs pre rôzne predspracované dátové sady s použitím rôznych a atribútov a najvyššia presnosť akú dosiahli bola 88.11%. Yadavov tím s rovnakým dátovým setom za pomoci NNs s rôznymi nastaveniami získal modely s priemernou presnosťou 74.06%.

### C. Naivný Bayes

Naivný Bayes je jednoduchá klasifikačná metóda, ktorá na zostavenie klasifikátorov pre odhad parametrov potrebných na klasifikáciu vyžaduje malú trénovaciu množinu [22]. Na predpoveď potrebuje výpočet pravdepodobnosti pre každý atribút patriaci do každej triedy. Názov „naivný“ pochádza z predpokladu algoritmu, že pravdepodobnosť každého atribútu patriaceho do danej triedy je nezávislá od všetkých ostatných atribútov. Princíp algoritmu spočíva vo výpočte pravdepodobnosti príslušnosti danej inštancie do každej triedy a výsledná klasifikácia je zvolená podľa najvyššej pravdepodobnosti príslušnosti inštancie k triede.

Metóda Naivného Bayesa nie je veľmi často využívaná, ale okrem iných metód bola použitá vo výskume Alizadehsaniho [8] na dátovom sete Z-Alizadeh Sani. Pre rôzne skupiny atribútov dosiahol tento algoritmus priemernú presnosť 60.51%. Na rovnakom dátovom sete použil metódu Naivného Bayesa aj Yadav so svojim tímom a presnosť, ktorú dosiahli bola podstatne vyššia, 80.15% [9].

### D. Metóda podporných vektorov

Medzi algoritmy používané na klasifikáciu patrí aj metóda podporných vektorov (SVM). Grafická reprezentácia algoritmu zobrazuje každý záznam ako bod v  $n$ -dimenzionálnom priestore (pričom  $n$  je počet vstupných premenných), kde hodnota každej premennej je hodnota určitej súradnice [9]. Následne algoritmus vykoná klasifikáciu nájdením hyperroviny, ktorá veľmi dobre rozlišuje 2 cieľové skupiny. Vo fáze testovania sa do toho istého priestoru vkladajú nové príklady a predpokladá sa, že ich príslušnosť do cieľovej skupiny je na základe toho, na ktorú stranu hyperroviny spadajú.

Podobne ako naivný Bayes, ani SVM nie je až tak populárnou metódou. V našom prehľade bola na vytvorenie klasifikačného modelu použitá len za účelom porovnania presnosti oproti vylepšenému algoritmu Apriori [9]. SVM dosiahol 89.11% presnosť, no oproti porovnávanému algoritmu bola o 4.64% nižšia.

## V. ZÁVER

Tento článok podáva prehľad výskumných článkov zameraných na využitie metód dolovania v dátach pri diagnostike kardiovaskulárnych ochorení, prípadne na identifikáciu rizikových faktorov vedúcich ku kardiovaskulárnym ochoreniam. Výsledky tejto analýzy nám pomôžu zamerať sa v ďalšom výskume na najúspešnejšie metódy rozhodovacích stromov, v rátane



súborov klasifikátorov ako napr. random forest, ktoré autori zatiaľ nevyužívali. Taktiež sa chceme zamerať na zohľadnenie nákladov spojených s jednotlivými typmi diagnostických chýb a tieto využiť pre správne nastavenie výsledných parametrov klasifikátora, napr. s pomocou ROC kriviek a nákladovo citlivých metód klasifikácie.

#### POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt "Centrum informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy" (kód ITMS:26220120020), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

#### LITERATÚRA

- [1] "Cardiovascular diseases (CVDs)", World Health Organization, 2017. [Online]. Available: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/en/>. [Accessed: 09- Jún- 2017].
- [2] R. Češka, V. Tesař, P. Dítě and T. Štulc, Interna, 1st ed. Praha: Triton, 2010, ISBN: 978-80-7387-423-0.
- [3] "The top 10 causes of death", World Health Organization, 2017. [Online]. Available: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/en/>. [Accessed: 09- Jún- 2017].
- [4] J.-P. Collet, Ch. Mueller, M. Valgimigli, F. Andreotti, J. J. Bax, M. A. Borger, C. Brotons, D. P. Chew, B. Gencer, G. Hasenfuss, K. Kjeldsen, P. Lancellotti, U. Landmesser, J. Mehili, D. Mukherjee, R. F. Storey, S. Windecker, "2015 ESC Guidelines for the Management of Acute Coronary Syndromes in Patients Presenting without Persistent ST-segment Elevation", European Heart Journal, 2015.
- [5] R. El-Bialy, M. Salamay, O. Karam and M. Khalifa, "Feature Analysis of Coronary Artery Heart Disease Data Sets", Procedia Computer Science (ICCMIT 2015), vol. 65, pp. 459-468, 2015, ISSN: 1877-0509.
- [6] L. Verma, S. Srivastava and P. Negi, "A Hybrid Data Mining Model to Predict Coronary Artery Disease Cases Using Non-Invasive Clinical Data", Journal of Medical Systems, vol. 40, no. 7, 2016, ISSN: 1573-689X.
- [7] R. Alizadehsani, J. Habibi, Z. Alizadeh Sani, H. Mashayekhi, R. Boghrati, A. Ghandeharioun, F. Khozeimeh and F. Alizadeh-Sani, "Diagnosing Coronary Artery Disease via Data Mining Algorithms by Considering Laboratory and Echocardiography Features", Research in Cardiovascular Medicine, vol. 2, no. 3, pp. 133-139, 2013, ISSN: 2251-9580.
- [8] R. Alizadehsani, J. Habibi, M. J. Hosseini, H. Mashayekhi, R. Boghrati, A. Ghandeharioun, B. Bahadorian, Z. A. Sani, "A data mining approach for diagnosis of coronary artery disease", Computer Methods and Programs in Biomedicine, ISSN: 0169-2607, Vol. 111, N. 1, 2013, P. 52-61.
- [9] Ch. Yadav, S. Lade, M. k Suman, "Predictive Analysis for the Diagnosis of Coronary Artery Disease using Association Rule Mining", International Journal of Computer Applications, ISSN: 0975 – 8887, Vol. 87, N. 4, 2014, P. 9-13.
- [10] O. Atkov, S. Gorokhova, A. Sboev, E. Generozov, E. Muraseyeva, S. Moroshkina and N. Cherniy, "Coronary heart disease diagnosis by artificial neural networks including genetic polymorphisms and clinical parameters", Journal of Cardiology, vol. 59, no. 2, pp. 190-194, 2012, ISSN: 0914-5087.
- [11] K. Rajeswari, V. Vaitiyanathan and T. Neelakantan, "Feature Selection in Ischemic Heart Disease Identification using Feed Forward Neural Networks", Procedia Engineering (IRIS 2012), vol. 41, pp. 1818-1823, 2012, ISSN: 1877-7058.
- [12] P. Chapman, J. Clinton, R. Kerber, T. Khabaza, T. Reinartz, C. Shearer, and R. Wirth: "CRISP-DM 1.0 Step-by-Step Data Mining Guide", 2000.
- [13] C. Shearer, "The CRISP-DM Model: The New Blueprint for Data Mining", Journal of Data Warehousing, vol. 5, no. 4, 2000, pp. 13-22.
- [14] K.S. Murthy, "Automatic construction of decision trees from data: A multidisciplinary survey", Data Mining and Knowledge Discovery, 1997, pp. 345-389, doi: 10.1007/s10618-016-0460-3.
- [15] J. R. Quinlan, "C4.5: Programs for Machine Learning", Morgan Kaufmann Publishers, 1993, doi: 10.1007/BF00993309.
- [16] S. Singh, P. Gupta, "Comparative Study ID3, Cart and C4.5 Decision Tree Algorithm: A Survey", International Journal of Advanced Information Science and Technology (IJAIST), vol. 27, no. 27, 2014, ISSN: 2319:2682.
- [17] N. Patil, R. Lathi, and V. Chitre, "Comparison of C5.0 & CART Classification algorithms using pruning technique", International Journal of Engineering Research & Technology, vol. 1, no. 4, 2012, pp. 1-5.
- [18] T. Hothorn, K. Hornik, and A. Zeileis, "Unbiased recursive partitioning: A conditional inference framework", Journal of Computational and Graphical Statistics, vol. 15, no. 3, 2006, pp. 651-674.
- [19] "Neurónové siete - základné pojmy", Neuron.tuke.sk, 2017. [Online]. Available: <http://neuron.tuke.sk/zvada/statnice/III/01/index.html>. [Accessed: 07- Mar- 2017].
- [20] J. Zvárová, Š. Svačina, Z. Valenta, P. Berka, D. Buchtela, R. Jiroušek, M. Malý, V. Papíková, J. Peleška, J. Rauch, I. Vajda, A. Veselý, K. Zvára and M. Zvolský, III. Systémy pro podporu lékařského rozhodování, 1st ed. Praha: Karolinum, 2009, pp. 365-390, ISBN: 978-80-246-1732-9.
- [21] J. Kalina and J. Zvárová, "Parametric vs. Nonparametric Regression Modelling within Clinical Decision Support", International Journal of Biomedicine and Healthcare, vol. 5, no. 1, pp. 21-27, 2017, ISSN: 1805-8698.
- [22] D. J Hand, K. Yu, "Idiot's Bayes-not so stupid after all?", International Statistical Review, vol. 69, no. 3, 2001, pp. 385-399. doi:10.2307/1403452.
- [23] Breiman, Leo; Friedman, J. H.; Olshen, R. A.; Stone, C. J. Classification and regression trees. Monterey, CA: Wadsworth & Brooks/Cole Advanced Books & Software, 1984, ISBN 978-0-412-04841-8.
- [24] Ho, Tin Kam (1998). "The Random Subspace Method for Constructing Decision Forests" (PDF). IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 20 (8): 832-844. doi:10.1109/34.709601

# System monitorovania priemyselných riadiacich systémov

<sup>1</sup>Miroslav HANČAR, <sup>2</sup>Imrich ANDRÁŠ, <sup>3</sup>Ján ŠALIGA

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií  
Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach  
Park Komenského 13, 041 20 Košice, Slovenská republika

<sup>1</sup>miroslav.hancar@student.tuke.sk, <sup>2</sup>imrich.andras@tuke.sk, <sup>3</sup>jan.saliga@tuke.sk

**Abstrakt** — Tento článok je zameraný na návrh elektronického meracieho systému pre bezkontaktné snímanie digitálnych signálov v priemyselných prostrediacich. Navrhnutý systém má slúžiť na kontrolu činnosti a zaznamenávanie porúch v riadiacich systémoch s programovateľnými logickými automatmi. Vzhľadom na nedostupnosť senzorov potrebných na bezkontaktné meranie sa článok venuje vývoju bezkontaktného meracieho systému využívajúceho kapacitu medzi vodičom a vonkajšou snímacou elektródou. Popísaná je tiež kontaktná prúdová sonda s digitálnym výstupom. Merací systém galvanicky oddeľuje monitorované zariadenie od blokov číslicového spracovania signálov, čo zvyšuje robustnosť zariadenia pri prevádzke v priemysle, a disponuje ethernetovým rozhraním pre prenos nameraných dát a vzdialené monitorovanie.

**Kľúčové slová** — kapacitný senzor, bezkontaktné snímanie, meranie prúdu, galvanické oddelenie

## I. ÚVOD

Elektronické riadiace systémy je dnes možné nájsť na každej úrovni automatizácie. Pojem priemyselný riadiaci systém je najčastejšie spájaný s programovateľnými logickými automatmi (PLC), čo sú malé priemyselné počítače vybavené digitálnymi a analógovými vstupmi a výstupmi. Je možné ich programovať prostredníctvom špecializovaných programovacích jazykov (napr. Ladder) a vytvárať tak algoritmy na riadenie výrobných liniek alebo prístrojov. S využívaním elektronického riadenia v priemysle súvisí požiadavka na kontrolu činnosti a odhaľovanie porúch v riadiacich systémoch.

Predmetom tejto práce je elektronický merací systém na kontrolu činnosti a zaznamenávanie porúch v riadiacich systémoch s PLC. Potrebné je merať digitálne aj analógové signály, a to podľa možnosti bez zásahu do meraných obvodov – bezkontaktné. Namerané signály je žiaduce kvôli prípadnej neskoršej diagnostike dlhodobo zaznamenávať. Samotné meranie v priemysle býva problémové kvôli rušeniam a premenlivým zemným potenciálom, takže merací systém musí zabezpečiť galvanické oddelenie meraných a meracích obvodov od vonkajšieho záznamového zariadenia. Navrhnuté zariadenie disponuje ethernetovým rozhraním na prenos nameraných dát, čo umožňuje dlhodobé zaznamenávanie dát aj monitorovanie v reálnom čase prostredníctvom vzdialených výpočtových prostriedkov.

## II. TEORETICKÝ ROZBOR

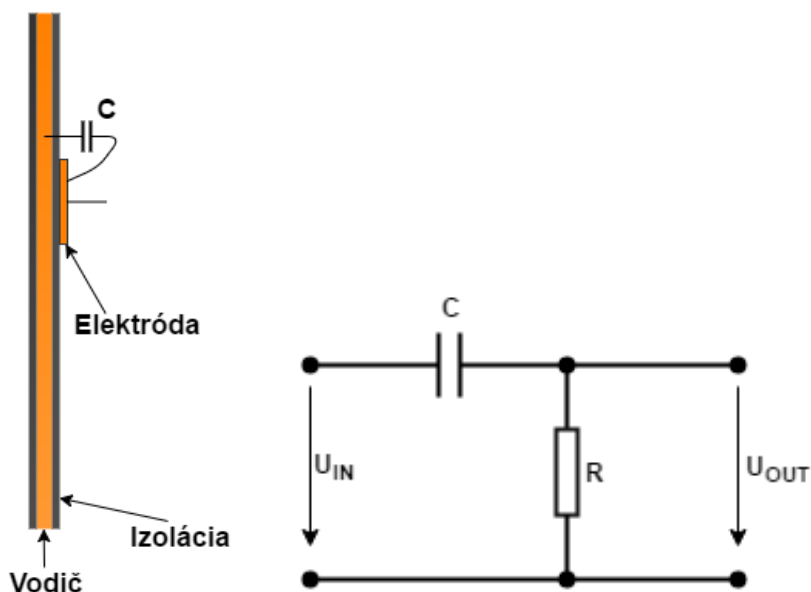
Bezkontaktné meranie signálov je možné realizovať dvoma metódami – indukčnou a kapacitnou. V prípade indukčnej metódy je využitá skutočnosť, že okolo vodiča v ktorom preteká prúd sa vytvorí magnetické pole priamo úmerné veľkosti prúdu  $I$ . Tento jav je možné matematicky opísať pomocou (1).

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (1)$$

$\mu_0$  predstavuje permeabilitu vákuu a  $r$  je vzdialenosť od vodiča.

Je zrejmé, že spoľahlivé snímanie signálov indukčnou metódou je podmienené prechodom prúdu cez snímaný vodič. Tento prúd musí byť navyše dostatočne veľký na to, aby v okolí vodiča vytvoril magnetické pole snímateľné bežnými senzormi magnetického poľa (Hallove senzory) s citlivosťou zvyčajne rádovo v mT. Pri snímaní digitálnych signálov je však nutné uvažovať aj so situáciou, kedy meraným vodičom nepreteká žiadny alebo len veľmi malý prúd – napríklad pri typickom spojení digitálneho výstupu a digitálneho vstupu s veľmi vysokou impedanciou. V takom prípade sa indukčná metóda nedá použiť, pretože snímanie magnetických polí s veľmi malou intenzitou ( $\mu\text{T}$ ) je komplikované a náchylné na rušenie.

Vhodnejšou metódou je preto kapacitné snímanie, ktoré využíva kapacitu tvorenú vodičom, izoláciou vodiča a externou elektródou (Obr. 1). Táto metóda umožňuje snímať len časovo premenlivé signály, čo je v prípade digitálnych signálov postačujúce - stačí detegovať hrany signálu.

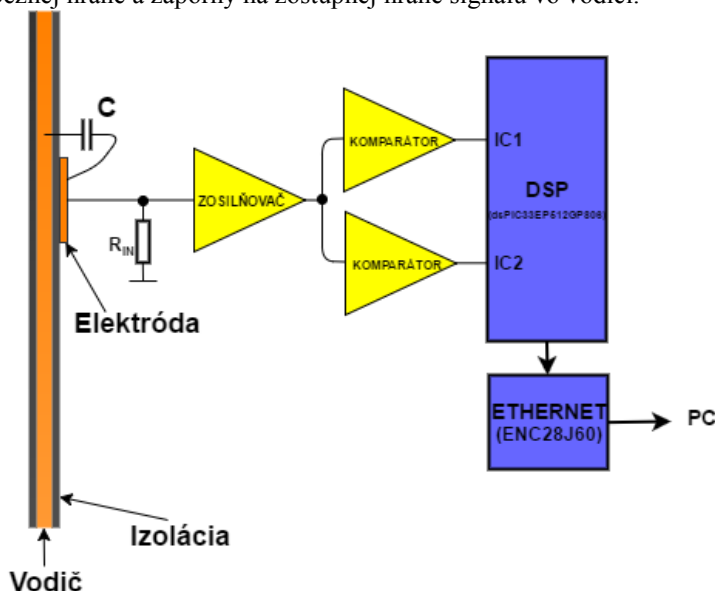


Obr. 1 Princíp kapacitnej metódy snímania signálov

Elektróda kapacitného senzora môže byť tvorená akýmkoľvek vodivým materiálom dotýkajúcim sa izolácie vodiča. Z praktických dôvodov je však ideálne ak elektróda obopína vodič (izoláciu) po obvode. Kapacita takto vytvoreného senzora je daná

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{S}{d}, \quad (2)$$

kde  $\epsilon_r$  predstavuje relatívnu permitivitu dielektrika (izolácie vodiča),  $\epsilon_0$  je permitivita vákuu,  $S$  je plocha elektródy a  $d$  je hrúbka dielektrika. Výstupný signál kapacitného senzora je kladný impulz na nábežnej hrane a záporný na zostupnej hrane signálu vo vodiči.



Obr. 2 Bloková schéma spracovania signálu

### III. REALIZÁCIA

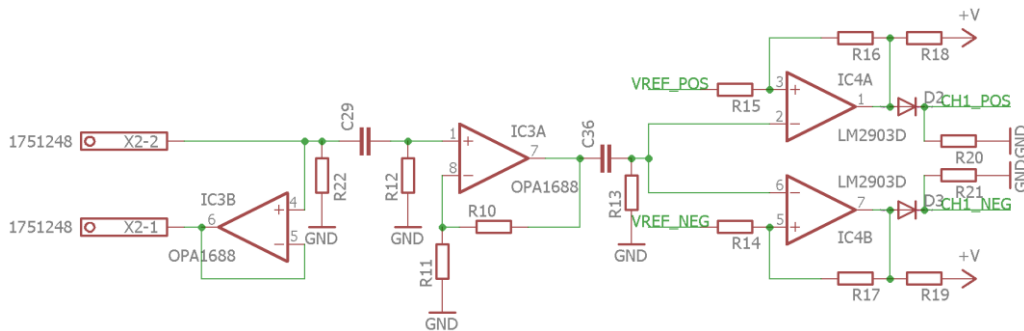
#### A. Bezkontaktné snímanie digitálnych signálov

Bloková schéma spracovania signálu z kapacitného senzora je na Obr. 2. Signál vstupuje do operačného zosilňovača ktorý slúži predovšetkým ako impedančný oddeľovač. Rezistorom  $R_{IN}$  je vytvorená jednosmerná cesta pre vstupný prúd zosilňovača. To zabezpečuje správnu funkciu zosilňovača pri použití kapacitného senzora. Zároveň tento resistor ovplyvňuje tvar signálu určený (3).

$$u(t) = U_m e^{-t/R_{IN}C} \quad (3)$$

$U_m$  predstavuje amplitúdu pravouhlého signálu v snímanom vodiči. V tejto práci uvažujeme s napätím 24V ktoré je typické pre PLC systémy.

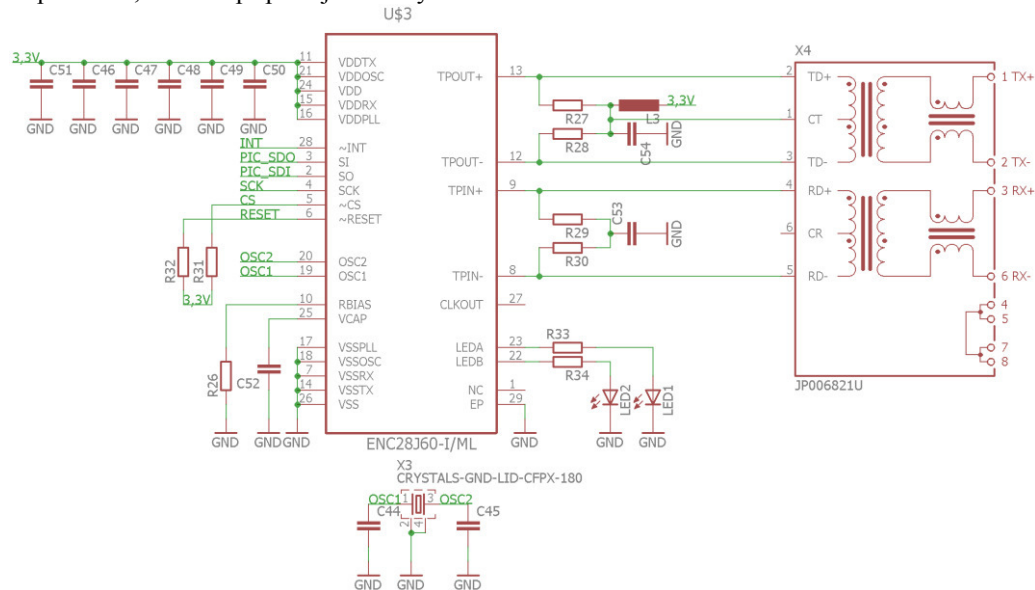
Výstupný signál zosilňovača vstupuje do dvojice komparátorov, kde je porovnávaný s kladným a záporným referenčným napätím. Tým dochádza k tvarovaniu exponenciálnych impulzov vznikajúcich na hranách signálu na pravouhlé. Komparátor s kladným referenčným napätím deteguje nábežnú hranu signálu a komparátor so záporným referenčným napätím deteguje zostupnú hranu signálu. Dĺžka impulzov je meraná v signálovom procesore pomocou modulov *Input Capture*. V prípade, že dĺžka impulzu zodpovedá ideálnej dĺžke ( $\pm$  tolerančné pásmo) pre dané podmienky (určené senzorom a referenčným napätím komparátorov), je vyhodnotený ako zmena stavu signálu. V opačnom prípade, ak je impulz príliš krátky alebo príliš dlhý, je vyhodnotený ako rušenie a binárny stav snímaného vodiča sa v pamäti procesora nemení. Konkrétna schéma zapojenia vstupného zosilňovača a komparátorov je na Obr. 3. Podmienkou pre správnu funkciu je spojenie záporného pólu napájania detektora so zemou meraného obvodu.



Obr. 3 Schéma zapojenia vstupnej časti modulu pre kapacitné snímanie

Signál z kapacitného senzora nemá jednosmernú zložku a je možné ho oddeliť hornopriepustným filtrom tvoreným C29 a R12, čím dosiahneme účinné potlačenie 50Hz rušenia pri nezmenenom tvare impulzu. Medzná frekvencia filtra bola zvolená asi 750Hz. Zosilňovač IC3A má pomocou rezistorov R10 a R11 zavedenú spätnú väzbu, ktorou je v prípade potreby možné nastaviť zosilnenie. Pri experimentoch bolo zosilnenie jednotkové. Za zosilňovačom nasledujú už spomínané komparátory IC4A a IC4B.

Výrazné problémy môžu byť spôsobené parazitnými kapacitami voči zemi, obzvlášť na dlhších prívodných vodičoch senzora. V takom prípade je vhodné použiť tieneny vodič spolu s aktívnym tienením. Princíp aktívneho tienenia spočíva v budení tieniaceho vodiča (opletu) rovnakým signálom aký je prenášaný vo vnútornom vodiči, čím sa z veľkej časti eliminuje kapacita kábla ako aj externé parazitné capacity [1]. Budiaci zdroj musí mať nízku výstupnú impedanciu, v tomto prípade je tvorený zosilňovačom IC3B.



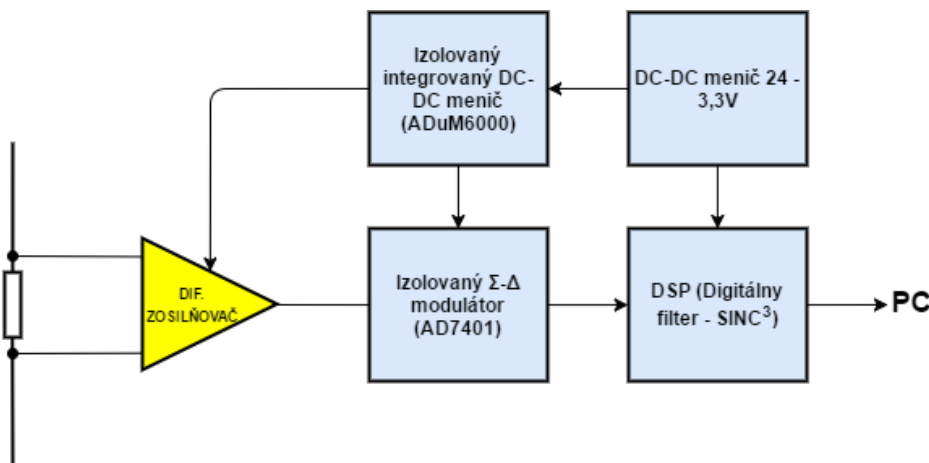
Obr. 4 Schéma zapojenia Ethernetového rozhrania

Dôležitou súčasťou modulu pre kapacitné snímanie je prenos nameraných dát do počítača. Ten je zabezpečený prostredníctvom Ethernetu, ktorý je vďaka svojej robustnosti masívne používaný v priemysle. Keďže použitý procesor dsPIC33EP512GP806 neobsahuje vlastné Ethernet rozhranie, bol použitý most medzi SPI zbernicou a Ethernetom ENC28J60. Tento

integrovany obvod zabezpečuje fyzickú (PHY) a linkovú vrstvu (MAC) Ethernetu. Vyššie vrstvy musia byť zabezpečené pomocou knižničných funkcií v procesore (TCP/IP stack). Schéma zapojenia Ethernetového rozhrania je na Obr. 4. Výhodou použitia Ethernetu je aj galvanické oddelenie, zabezpečené konektorom RJ-45 s integrovanými transformátormi.

### B. Kontaktné meranie prúdu

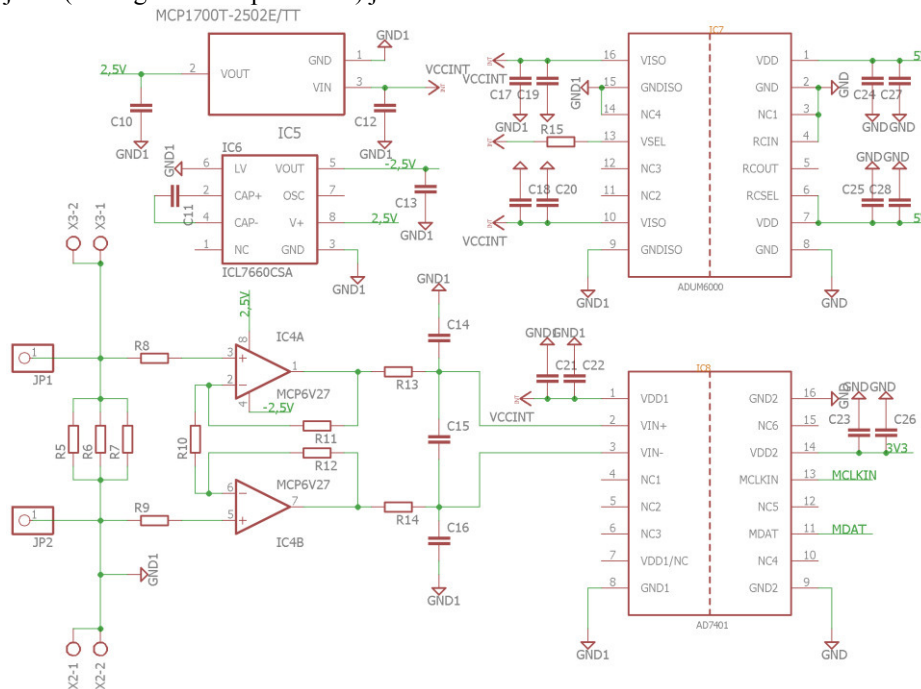
Prúdový senzor je navrhnutý s ohľadom na čo najväčšiu flexibilitu pri meraní širokého rozsahu prúdov od niekoľkých  $\mu\text{A}$  až po desiatky A pri zaistení galvanického oddelenia. Princíp je znázornený na Obr. 5.



Obr. 5 Bloková schéma prúdového senzora

Prúd je meraný nepriamo z úbytku napätia na bočníku. Tento úbytok je zosilnený diferenciálnym zosilňovačom. Kombináciou hodnoty odporu bočníka a zosilnenia je možné pokryť veľmi široký rozsah prúdov. Signál zo zosilňovača vstupuje do izolovaného sigma – delta modulátora 2. rádu typu AD7401. Modulátor aj zosilňovač sú na meracej strane napájané izolovaným integrovaným DC-DC meničom ADuM6000. Celý prúdový senzor tak potrebuje len jeden zdroj napájania 5 až 24V.

Výstupný jednobitový signál z modulátora vstupuje do signálového procesora, v ktorom je implementovaný digitálny filter SINC<sup>3</sup>. Úlohou filtra je vytvoriť z jednobitového signálu kódové slovo reprezentujúce meraný prúd s vysokým rozlíšením. Komunikácia s počítačom prípadne s iným nadriadeným systémom je realizovaná prostredníctvom sériovej linky (UART), ku ktorej je možné podľa potreby pripojiť prevodník na rozhranie USB alebo Ethernet. Schéma zapojenia (bez signálového procesora) je na Obr. 6.

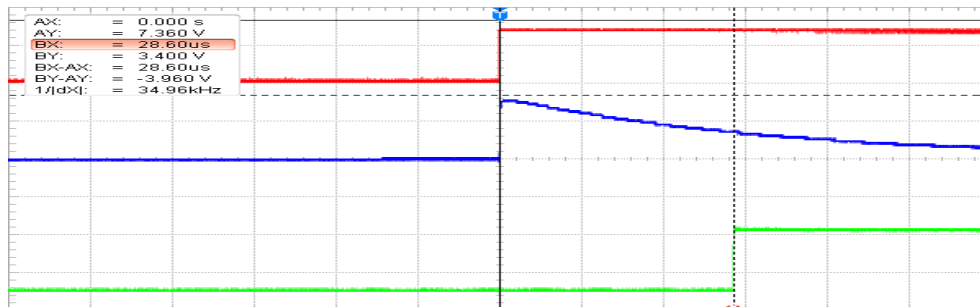


Obr. 6 Analógová časť prúdového senzora

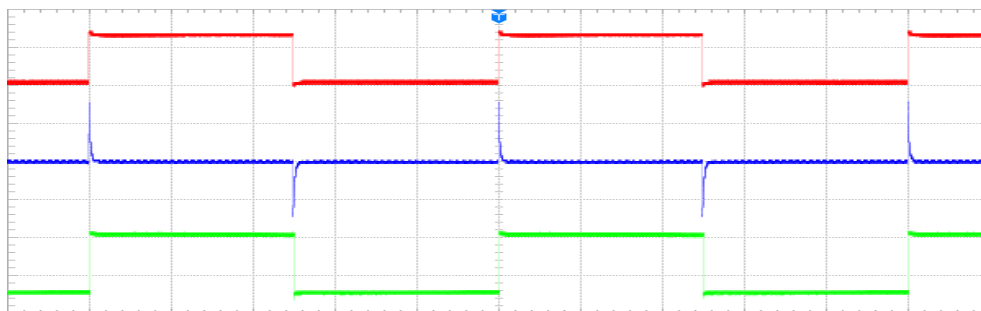
Bipolárne napájanie diferenciálneho zosilňovača vytvorené pomocou invertora ICL7660 umožňuje meranie striedavého prúdu.

#### IV. EXPERIMENTÁLNE VÝSLEDKY

Nasledujúce merania sa týkajú bezkontaktného detektora digitálnych signálov a sú v nich zaznamenané signály v jednotlivých stupňoch spracovania. Meranie bolo vykonané s kapacitným senzorom vytvoreným z hliníkovej fólie obtočenej okolo izolácie vodiča so šírkou 1cm a odmeranou kapacitou 6pF. Kapacitná sonda vo finálnom prevedení meracieho systému bude mať tvar valcovej objímky, ktorá zabezpečí dostatočne veľkú a pritom stabilnú kapacitu vodič – sonda, pri súčasnej jednoduchšej inštalácii sond do existujúcej kabeláže.



Obr. 7 Meraný signál (červená), výstup kapacity sondy (modrá) a procesorom rekonštruovaný signál (zelená) - nábežná hrana, oneskorenie 28us



Obr. 8 Meraný signál (červená), výstup kapacity sondy (modrá) a procesorom rekonštruovaný periodický signál (zelená)

#### V. ZÁVER

Výsledkom doterajšej práce je testovacia verzia hardvéru a softvéru bezkontaktného snímača digitálnych signálov. Funkčnosť systému bola overená meraniami v simulovaných priemyselných podmienkach, kde je možné bezkontaktno snímať digitálne signály a namerané dáta vysielat' po ethernetovom rozhraní vzdialenému počítaču. Ďalšia práca bude zameraná na vytvorenie finálnej verzie HW a SW oboch typov snímačov prezentovaných v tomto článku a ich test v reálnom priemyselnom prostredí.

#### POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore projektu KEGA 015TUKE-4/2016.

#### LITERATÚRA

- [1]. F. Reverter, X. Li, G. C. M. Meijer: Stability and accuracy of active shielding for grounded capacitive sensors. Measurement Science and Technology [online]. 2006, 17(11), 2884-2890. ISSN 0957-0233. Dostupné z: <http://stacks.iop.org/0957-0233/17/i=11/a=004?key=crossref.237cec83f1fb8d64b1e2047a05669554>
- [2]. P. W. Zitzewitz, R. F. Neff, M. Davids: Merrill physics : principles and problems. New York, N.Y: Glencoe, 1994. ISBN 9780028267227
- [3]. W. A. Kester: The Data Conversion Handbook. [online]. 2005. Dostupné na internete: <http://www.analog.com/en/education/education-library/data-conversion-handbook.html>
- [4]. D. Van Ess: Signals From Noise: Calculating Delta-Sigma SNRs. Dostupné na internete: [http://www.ieee.li/pdf/essay/calculating\\_delta-sigma\\_snr.pdf](http://www.ieee.li/pdf/essay/calculating_delta-sigma_snr.pdf)
- [5]. A. Mehta: Understand low-side vs. high-side current sensing. Planetanalog. Dostupné na webovskej stránke: [http://http://www.planetanalog.com/document.asp?doc\\_id=527795](http://http://www.planetanalog.com/document.asp?doc_id=527795)
- [6]. Šaliga J.: Testovanie AD prevodníkov, Košice : TU – 2013. – 119 s. – ISBN 978-80-553-1329-0.

# A code generator for an abstract implementation of imperative language

<sup>1</sup>*Žaneta KOCHANIKOVÁ*, <sup>2</sup>*William STEINGARTNER*,  
<sup>3</sup>*Mohamed Ali M. ELDOJALI*

Department of Computers and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>zaneta.kochanikova@gmail.com, <sup>2</sup>william.steingartner@tuke.sk,  
<sup>3</sup>eldojalimohamed@gmail.com

**Abstract** – This article deals with proposing and creating application that can generate code for abstract implementation for imperative language and also can generate XML structure from the specified input code. The analytical part consists of a formal definition of the language, simple programming language and abstract machine. The main part focuses on proposing and implementing the application. With the high-quality testing process is even confirmed by the correctness of the implementation. The application will be used as a learning tool for the students of the course Semantics of programming languages.

**Keywords** – abstract implementation, abstract machine, code generator, learning tool, Java

## I. INTRODUCTION

In this work we deal with a simple imperative programming language and its abstract implementation. Before defining this language, it is necessary to show what constitutes a formal definition of any language. The formal definition of every language consists of the following parts [1], [5]:

- syntax definition, and
- semantics definition.

Syntax of language determines the allowed sequence of basic symbols, regardless of their meaning, and determines the shape and structure of programs written in that language. Semantics associates each syntactically correct sequence of basic symbols with their meaning [6], [7].

The abstract syntax definition includes [1], [6]:

- syntactic domain, and
- inference rules.

A syntactic domain is a set of syntactic items, that have a common syntactic structure.

The definition of formal semantics includes [1], [7]:

- semantic domains,
- specification of semantic functions,
- semantic equations or deduction rules.

The semantic domain is a (mathematical) structure, that contains the meanings of a given syntactic domain. For simplicity we use in this approach only sets such as the set of natural numbers ( $\mathbf{N}$ ) or set of integers ( $\mathbf{Z}$ ). The semantic domain of the programming language is the union of all semantic domains of the language. This set is a model for programming language [1], [7].

The semantic function maps the syntactic domain into relevant semantic domain. Specification of this function is as follows [1]:

$$\mathcal{F} : \mathbf{Synt} \rightarrow \mathbf{Sem}.$$

For each syntactic domain, it is necessary to specify exactly one semantic function. The definition of semantic function can be expressed using semantic equations or deduction rules that precisely define the meaning of individual shapes in the inference rule for a given syntactic domain [1].

## II. ABSTRACT IMPLEMENTATION

In this section we deal with an abstract implementation based on an abstract machine [1], [2], [4], [7]. Therefore, it is necessary to define the abstract machine, its configuration and also the instructions with which the abstract machine works. It is also necessary to clarify the translation of statements, Boolean and arithmetic expressions of a simple programming language into instructions of abstract machine based on translation equations.

### A. Characteristics of the abstract machine

For the abstract machine the following parts are necessary [1]:

- definition of the configuration of the abstract machine; and
- definition of instructions for this machine.

This abstract machine uses for its configuration an ordered tuple [1]  $\langle c, st, s \rangle$ , where:

- $c$  is the code, the sequence of instructions for the abstract machine;
- $st$  is a stack consisting of numerical and logical values over which instructions will be executed; and
- $s$  is the state in which the abstract machine is in the given configuration.

Code  $c$  is considered as sequence of instructions, so its abstract syntax is defined by the inference rule [1]:

$$c ::= \varepsilon \mid inst : c,$$

where  $\varepsilon$  is an empty sequence of instructions, and  $:$  is a delimiter symbol.

Generally, the initial configuration of the abstract machine is an ordered tuple:

$$\langle inst : c, st, s \rangle.$$

The abstract syntax of instructions of the abstract machine is defined by this inference rule [1], [2]:

$$\begin{aligned} ins ::= & \text{PUSH } - n \mid \text{ADD} \mid \text{MULT} \mid \text{SUB} \mid \text{FETCH } - x \mid \text{STORE } - x \mid \\ & \text{TRUE} \mid \text{FALSE} \mid \text{EQ} \mid \text{LE} \mid \text{NEG} \mid \text{AND} \mid \\ & \text{EMPTYOP} \mid \text{BRANCH}(c_1, c_2) \mid \text{LOOP}(c_1, c_2) \end{aligned}$$

### B. Translation of statements into instructions of abstract machine

A program written in a simple programming language is needed to translate into instructions of abstract machine. Therefore, it is necessary to specify translation functions that ensure correct translation of statements of simple programming language into the abstract machine instructions.

We will use the function to translate arithmetic expressions  $\mathcal{TE}$  and for the Boolean expressions function  $\mathcal{TB}$ . To translate statements we will use the function  $\mathcal{TS}$ .

$$\begin{aligned} \mathcal{TE} &: \mathbf{Expr} \rightarrow \mathbf{Code}, \\ \mathcal{TB} &: \mathbf{Bexp} \rightarrow \mathbf{Code}, \\ \mathcal{TS} &: \mathbf{Statm} \rightarrow \mathbf{Code}. \end{aligned}$$

Translation equations for arithmetic expressions are defined as follows [1]:

$$\begin{aligned} \mathcal{TE}[[n]] &= \text{PUSH } - n \\ \mathcal{TE}[[x]] &= \text{FETCH } - x \\ \mathcal{TE}[[e_1 + e_2]] &= \mathcal{TE}[[e_2]] : \mathcal{TE}[[e_1]] : \text{ADD} \\ \mathcal{TE}[[e_1 - e_2]] &= \mathcal{TE}[[e_2]] : \mathcal{TE}[[e_1]] : \text{SUB} \\ \mathcal{TE}[[e_1 * e_2]] &= \mathcal{TE}[[e_2]] : \mathcal{TE}[[e_1]] : \text{MULT} \end{aligned}$$

Translation equations for Boolean expressions are defined as follows [1]:

$$\begin{aligned} \mathcal{TB}[[\text{true}]] &= \text{TRUE} \\ \mathcal{TB}[[\text{false}]] &= \text{FALSE} \\ \mathcal{TB}[[e_1 = e_2]] &= \mathcal{TE}[[e_2]] : \mathcal{TE}[[e_1]] : \text{EQ} \\ \mathcal{TB}[[e_1 \leq e_2]] &= \mathcal{TE}[[e_2]] : \mathcal{TE}[[e_1]] : \text{LE} \\ \mathcal{TB}[[b_1 \wedge b_2]] &= \mathcal{TB}[[b_2]] : \mathcal{TB}[[b_1]] : \text{AND} \\ \mathcal{TB}[[\neg b]] &= \mathcal{TB}[[b]] : \text{NEG} \end{aligned}$$

It is important to emphasize that when translating operations between two expressions, the second expression is evaluated as the first one and *vice versa*. This is due to the insertion of



the appropriate values into the stack and the subsequent execution of the operation above these values.

Translation equations for statements are in the following form [1]:

$$\begin{aligned}\mathcal{T}\mathcal{S}[[x := e]] &= \mathcal{T}\mathcal{E}[[e]] : \text{STORE} - x \\ \mathcal{T}\mathcal{S}[[\text{skip}]] &= \text{EMPTYOP} \\ \mathcal{T}\mathcal{S}[[\text{if } b \text{ then } S_1 \text{ else } S_2]] &= \mathcal{T}\mathcal{B}[[b]] : \text{BRANCH}(\mathcal{T}\mathcal{S}[[S_1]], \mathcal{T}\mathcal{S}[[S_2]]) \\ \mathcal{T}\mathcal{S}[[\text{while } b \text{ do } S]] &= \text{LOOP}(\mathcal{T}\mathcal{B}[[b]], \mathcal{T}\mathcal{S}[[S]])\end{aligned}$$

By these equations is it possible to generate instructions for the abstract machine and then execute them.

### III. PROGRAM SPECIFICATION

Our program is designed as an application, that provides the translation of a program written in *Jane* language into the code of AM.

An input is a source text, that represents program in *Jane*. We do not consider variables' declarations so the program consists only of an executable body. An output is a final code which is either a sequence of AM instructions or XML form. The machine comprises only a program store.

The main function of lexical analysis in this application is tokenization, i.e. splitting the program into valid tokens. In this phase, all unnecessary white characters are eliminated. Also the number of brackets is checked (in case the string contains brackets).

The next phase is the syntax analysis. It consists of a set of recursive procedures, that gradually examine the syntax in more and more detail. A recursive descent parser contains a possibly recursive procedure for each syntactic construct. Then each statement is checked if it matches the appropriate regular expressions. For each statement of *Jane* language a unique regular expression is defined. In case the cycle statement (`while`) or conditional statement (`if`) are found, they are matched recursively with appropriate regular expressions. Generally, syntax analysis uses top-down parsing method with the error recovery.

After the syntax analysis, very simple semantic analysis is performed: the type mismatch control in assignments and Boolean conditions in statement constructs is performed.

The *rôle* of the compiler is to generate two kinds of output, based on user's choice. The first kind of output is a sequence of instructions in AM code. This function of compiler is the default one. The AM instructions are generated according to the translation rules (see Section II).

As an example we take a statement which finds greater of two given numbers:

```
if (x <= y) then max := y else max := x
```

Our program translates this statement to the target form as follows:

```
FETCH - y : FETCH - x : LE :
  BRANCH (FETCH - y : STORE - max,
    FETCH - x : STORE - max)
```

Graphic user interface showing this example is depicted in Figure 3.

The second kind of output is source code in *Jane* transformed into XML format. An XML format is designed and developed for possible future extension of this learning module and should serve as an universal form for the other handling with source code. It will allow to take XML form of an input program and use it as input for other semantic methods, e.g. construction of derivation trees in natural semantics or graphical representation of program in categorical semantics, etc.

### IV. IMPLEMENTATION

The programming language, which we chose after analysis for the implementation of the generator is Java. Java is an object-oriented higher-level language, that is platform-independent, designed to work with distributed environments on the Internet, as well as for creating stand-alone applications. It supports many GUI features that make it easier to use and manipulate the user interface.

Our application will process an input code that represents a program written using statements of simple programming language. After analyzing input and partitioning input to individual commands, the application will be able to generate output code using abstract machine instructions. It will also be able to generate XML format. The class structure of application, their layout and interconnections are shown using the diagram of the classes in the picture (Fig. 1).

The main class *GenerateJPJtoAM\_UI* provides communication and interaction with user. The class *InputTokenizer* represents a lexical analysis. The class *RegexPatterns* is used in syntax analysis and it provides the regular expressions for matching the keywords of the *Jane* language and expressions. The class *Generator* is used as generator of instructions. Here, particular classes for generating the instructions for each statement are derived from the main generator class. These classes contain and define the following translation rules

- *StoreGenerator* - for the assignment;
- *SkipGenerator* - for the empty statement;
- *IfGenerator* - for the conditional statement;
- *WhileGenerator* - for the logical prefix cycle;
- *BooleanGenerator* - for the Boolean expressions in conditional and cycle statements.

The class *XmlGenerator* is used for generating the XML format of a source program.

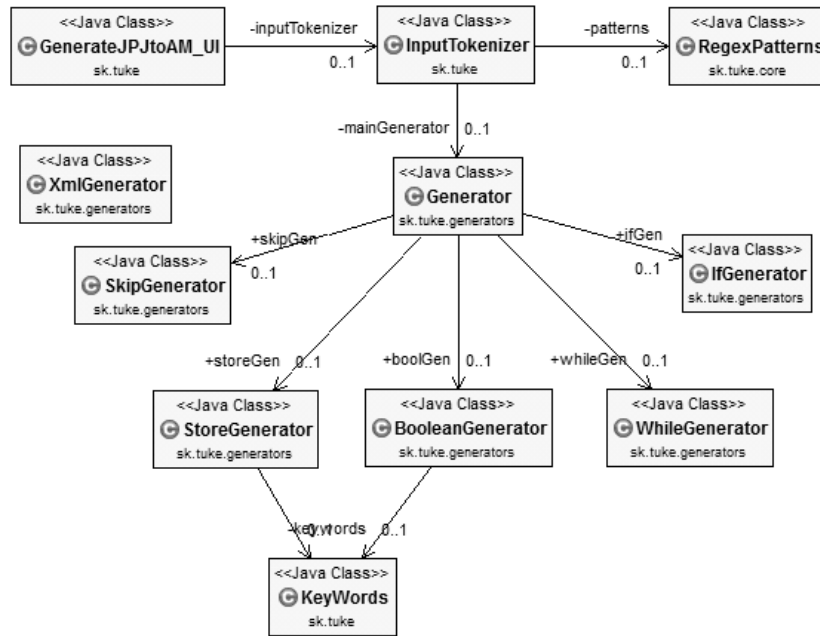


Fig. 1 Class diagram

The class *Instruction* (Fig. 2) is a generic class from which it inherit specific classes, that deal with specific instructions of the abstract machine.

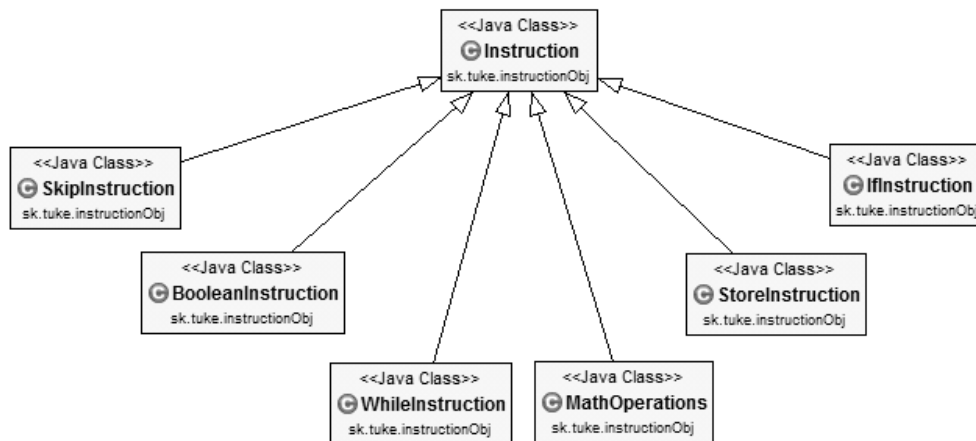


Fig. 2 Instruction class

## V. TESTING

Our application is different from the specification and design just little bit. The basic change is the change of the language of the application, from Slovak to English, due to the wider student engagement. Application is thus also applicable to foreign students studying this course in Slovakia, respectively.

The user interface of application (Fig. 3) looks as follows:

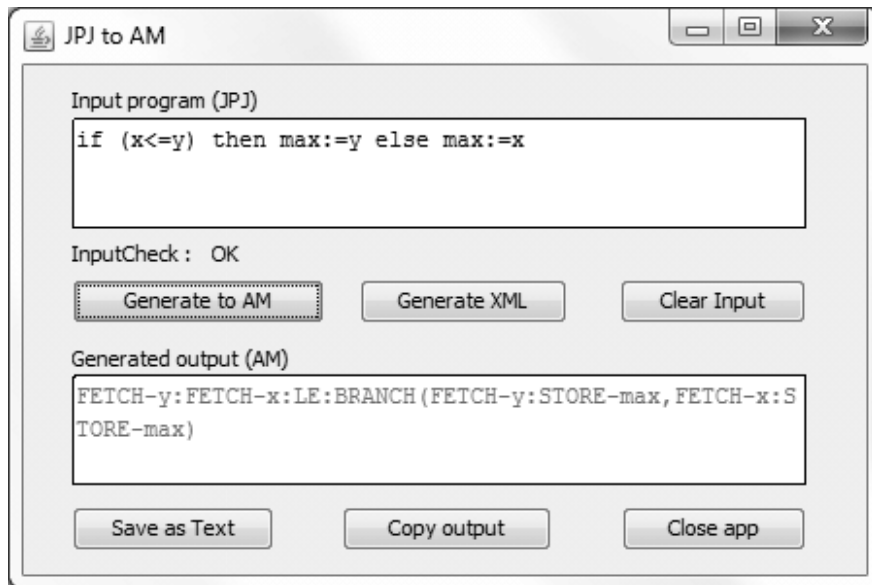


Fig. 3 User interface

Testing of application took place on two groups of target users.

- *Teachers*, who teach this course. Several serious mistakes have been revealed through this test, which have been later corrected.
- *Students*, who attend this course. We showed for students how the application works and then students tried the application. Students have expressed their opinion about the application, which is what matters to them, or what they would still welcome in the application. From this test, we came up with some interesting ideas, of which some of them also worked with our application. The students were very creative and, thanks for the discussion with them we got a lot of ideas about the extending of application.

Testing is an inherent part of software development, which often results to many of errors, creating many fruitful ideas, that can be implemented in the application. Also, our application can become a full-featured learning tool for course Semantics of programming languages, because the generated translation is correct and can thus greatly help students understand the meaning of abstract implementation.

## VI. LEARNING TOOL

An integral part of the practical and the same in the theoretical learning process in universities is the modern teaching tools that enrich the teaching methods and contribute to facilitating didactic principles. They are not only meant to illustrate the teaching process but also enable a better understanding of the theme. Their use is far wider by helping to understand the abstract elements of the theme and to contribute to the development of thinking. Teaching tools play a very important role at all stages of the educational process, as well as in its implementation, deepening, motivation and feedback.

Our application is a material learning tool from a pedagogical point of view. The definition of teaching tool can be found in general didactics [8].

## VII. CONCLUSION

The result of this work is an application that can translate an input program written using a simple programming language into the instructions of abstract machine. The created application based on extensive testing provides the correct results and will be a valuable tool in teaching of

the Semantics of programming languages. The application is created in Java, which ensures its functionality on every common used operating system.

This work was a continuation of the previous work [9], which was focused on simulating the execution of instructions on the abstract machine. This emulator is also used as a learning tool. In the future, it is anticipated that electronic learning tools will be expanded for the course Semantics of programming languages, and we have therefore chosen universal XML format to maintain compatibility among applications. The next planned learning tool will be an application that will implement the translation of abstract machine instructions into a simple programming language.

#### ACKNOWLEDGMENT

*This work has been supported by grant. No. 002TUKE-4/2017: "Innovative didactic methods of education process at university and their importance in increasing education mastership of teachers and development of students competences".*

#### REFERENCES

- [1] NOVITZKÁ, V., STEINGARTNER, W., *Sémantika programovacích jazykov*, Technická univerzita v Košiciach, Vydanie 1., 200s., ISBN: 978-80-553-1951-3, 2015. (in Slovak)
- [2] DIEHL S., HARTEL P., SESTOFT P., *Abstract machines for programming language implementation*. In: Future Generation Computer Systems 16., pp. 739-751, 2000.
- [3] ACETO, L., FOKKINK, W., and VERHOEF, C., *Structural operational semantics*. In: Handbook of Process Algebra, Elsevier, 1999, pp. 197-292.
- [4] BAGNARA, R., HILL, P., PESCE, A., and ZAFFANELLA, E., *Verification of C programs via natural semantics and abstract interpretation*. In: Tews, H. (ed.) Proceedings of the C/C++ Verification Workshop, Oxford, UK, 2007.
- [5] GOGUEN, J., and BURSTALL, R., *The semantics of clear, a specification language.*, LNCS 86, 1983, 292-332.
- [6] MOSSES, P., *Revised action notation: Syntax and semantics.*, draft 0.7.5, 2001.
- [7] SLONNEGER, K., and KURTZ, B., *Formal Syntax and Semantics of Programming Languages: A Laboratory Based Approach*. 1st ed. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA, 1995.
- [8] PETLÁK, E., *Všeobecná didaktika.*, Bratislava: IRIS, ISBN: 8089018645, 2004. (in Slovak)
- [9] BARAN, T., *Emulátor abstraktného stroja pre predmet Sémantika programovacích jazykov*, Diplomová práca, Technická univerzita v Košiciach, 2016. (in Slovak)
- [10] KOCHANIKOVÁ, Ž., *Generátor kódu pre abstraktnú implementáciu imperatívneho jazyka*, Diplomová práca, Technická univerzita v Košiciach, 2017. (in Slovak)

# Path planning using heuristic graph search algorithms

<sup>1</sup>Dorota BELANOVA', <sup>2</sup>Marián MACH

Department of Cybernetics and Artificial Intelligence, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>dorota.belanova@student.tuke.sk, <sup>2</sup>marian.mach@tuke.sk

**Abstract** — The increasing need of autonomous behaviour of mobile robots formed the necessity for path planning. In this paper, graph search algorithms are used to conduct path planning by computing an optimal path from start node to a goal node of a graph while avoiding the collision situations with obstacles. In real life, obstacles are not only static but also dynamic. In case of potential collisions with dynamic obstacles, computed path needs to be replanned. Two types of algorithms are therefore distinguished – intended for static environment as well as for dynamic or partially unknown environment. In the paper, algorithms from both categories were implemented in a testing environment and results of experiments were mutually compared.

**Keywords** — path planning, heuristic search, A\*, IDA\*, D\*, LPA\*, D\* Lite

## I. INTRODUCTION

In present, motion planning is often used in connection with autonomous robots, which should be able to conduct the work without human intervention. In most cases, it also requires the robot to move in space without the collision with obstacles. Motion planning is closely linked to path planning, which returns the path along which the robot should move in order to reach a desired position. Motion planning then creates the set of motions in order to traverse the computed path returned by path planning.

In this work, path planning is based on heuristic graph search algorithms, which enable robot to find an optimal path in an environment. To start with path planning using graph search algorithms, a graph representing the real environment needs to be built. After it has been created, it is possible to employ some of heuristic search algorithms to generate a path.

## II. GRAPH CONSTRUCTION

Continuous space is not desirable, because working with an infinite number of positions is hard to implement in a computer form and ineffective in path planning. Moreover, graph search algorithms can be used only to find an optimal path in a finite graph – they are not intended to compute a path by expanding an infinite number of possible positions.

Therefore, a graph must be constructed – a graph with finite number of possible positions of a robot represented by nodes of the graph. The nodes that are safely mutually traversable are connected by edges. Because the number of nodes in a graph is finite, it represents a discrete space. There are three basically different approaches to graph construction altogether; roadmaps (e.g., visibility graph, Voronoi diagram), cell decomposition (e.g., approximate cell decomposition, exact cell decomposition) and space-filling graphs (e.g., rapidly exploring random trees, growing neural gas network) [1].

## III. GRAPH SEARCH ALGORITHMS

Currently one of the most known heuristic search algorithms is A\* [2]. Until the invention of A\* algorithm, there were two ways to minimize the cost of a path; minimizing the already traversed path and minimizing the remaining path to goal. Both approaches have their advantages and disadvantages. The basic idea of A\* was to combine the two approaches to get the advantages of both of them. Evaluation function is therefore a sum of two functions

$$f(s) = g(s) + h(s) \quad (1)$$

where the function  $g(s)$  represents the cost of already traversed path from the start node to the

current node  $s$  and  $h(s)$  represents the cost of the remaining path to reach the goal node from the current node  $s$ . Evaluation function  $f(s)$  therefore estimates the cost of the cheapest path from the start node to the goal node through the node  $s$ . To ensure the optimality of A\*, heuristic function  $h(s)$  always needs to calculate the actual cost of path remaining to reach the goal node or underestimate it. It is expressed by the formula

$$h(s) \leq h^*(s) \quad (2)$$

where  $h^*$  is the true cost of path from the current node  $s$  to goal node. The algorithm always chooses the node with the smallest value of evaluation function and expands it. It calculates evaluation function of all the expanded nodes and chooses the unexpanded node with the smallest evaluation function. Advantages of this algorithm are that it is optimal and complete [3]. On the other hand, in case of dynamic environment, the algorithm is not able to replan the path using the information from the previous searches and has large memory requirements.

The algorithm laid the foundations for many other algorithms, such as algorithms IDA\* [4], D\* [5], LPA\* [6], and D\* Lite [7]. All these algorithms are based on A\* algorithm, each of them trying to minimize some of its drawbacks. The following table describes the chosen algorithms and states their main characteristics. Optimality and completeness is not present in the table since A\* algorithm is both optimal and complete and all these algorithms inherit both these features because they are based on A\* algorithm.

Table 1  
Characteristics of algorithms

Algorithm	Memory efficiency	Expansion efficiency	Replanning	Replanning with moving agent
A*	✗	✗	✗	✗
IDA*	✓	✗	✗	✗
D*	✗	✗	✓	✓
LPA*	✗	✓	✓	✗
D* Lite	✗	✓	✓	✓

Advantages and disadvantages of all the algorithms may be seen in Table 1. In the table, memory efficiency was judged by the number of nodes of a graph an algorithm needs to keep in memory. Because in each iteration IDA\* expands all the nodes and each node holds the information about its predecessor, it is the only memory efficient algorithm. All the other algorithms need to store information about already expanded nodes.

Expansion efficiency was judged by the number of nodes expanded before computing the path. LPA\* and D\* Lite algorithms only expand nodes necessary to gain the optimal path. All the other algorithms expand all the nodes of a graph before computing the path.

The ability of replanning is linked to a dynamic environment. A need for replanning occurs in a situation when a robot moves along computed path and detects a newly created obstacle or a free passage where an obstacle was in a previous path planning. In this case, the algorithm replans the path by updating the information it has from previous searches. This is possible in D\*, LPA\* and D\* Lite algorithms. In case of A\* and IDA\* algorithms, the algorithms need to start from scratch with new start position and updated array of obstacles.

The last column of a table is devoted to replanning with moving agent. This is possible for D\* and D\* Lite algorithms, which are able to recalculate the path of an agent if agent already moved in space. Even though LPA\* is also able to replan, it is not able to replan the path for moving agent – it is able to replan a path only if start position does not change. In case of moving agent, it needs to start with initial path planning as well as in A\* and IDA\* algorithms.

#### IV. EXPERIMENTS

The aim of the experiments [8] was to choose a set of maps, either static or dynamic, and make all the algorithms compute an optimal path for them, leading the robot from start to goal position. In case of static environment, only initial planning is needed. In case of dynamic environment, replanning is required in a case when obstacle is detected on the computed path. The results of the experiments will be time and memory requirements of every algorithm for each map. Time will be measured from the beginning of initial planning until the goal node is reached. To get the information about memory requirements of algorithms, the instance of every one of them will be measured during the process of path planning and replanning.

### A. Testing environment

To conduct experiments on the implemented algorithms, testing environment needed to be created. Fig. 1 shows what the testing environment for experiments looks like. User may choose map files for experiment, draw the map by selecting one of chosen files in the list box and see the map file. User also chooses algorithms for experiment, by clicking on the checkboxes next to the names of the algorithms. Experiment then starts by clicking on a Start Experiment button. After the experiment finishes, user is asked to select the name and location of the excel file which stores the results.

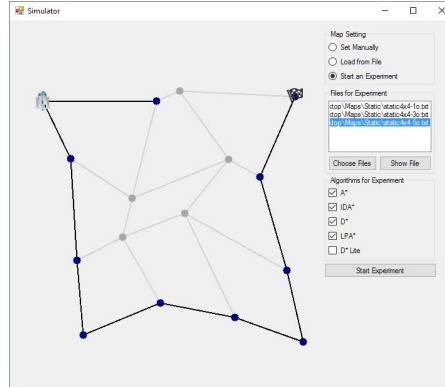


Fig. 1 Testing environment.

### B. Experiment in static environment

This experiment took place in static environment, which is an environment with only static obstacles. The environment will be represented by maps with generated nodes, start and goal nodes and static obstacles. The goal of the experiment is to compare memory and time requirements of algorithms implemented in the simulator in static environment with agent moving from start node to goal node. All the algorithms implemented in the simulator will go through 30 different maps. The name of a map represents main attributes of the map, for example ‘static5x5-3o’, where 5x5 stands for number of rows and columns of a graph and number in front of letter *o* stands for number of static obstacles of a graph. There are 10 sizes of maps, each size with 3 maps with increasing number of static obstacles, creating 30 maps in total.

Table 2  
 Results of experiment in static environment

	A*		IDA*		D*		LPA*		D* Lite	
	memory [B]	time [ms]	memory [B]	time [ms]	memory [B]	time [ms]	memory [B]	time [ms]	memory [B]	time [ms]
static4x4-1o.txt	2175684	10	2505180	9	3026724	20	3982800	10	3882280	9
static4x4-3o.txt	1965268	8	2319060	9	2721420	10	3157908	8	1609808	10
static4x4-5o.txt	1967348	9	2321028	10	2701004	10	3168164	11	1592716	9
static5x5-2o.txt	1980140	9	2325700	10	2713832	10	3207144	14	1613980	12
static5x5-4o.txt	1975652	14	2329312	16	2717484	15	3184936	17	1626096	17
static5x5-5o.txt	1988112	9	2333656	11	2721748	10	3181104	11	1622172	8
static7x7-4o.txt	2011032	14	2348312	15	2736468	13	3228528	13	1686512	12
static7x7-6o.txt	2027916	21	2358124	22	2746320	28	3247372	26	1699296	21
static7x7-12o.txt	2021012	22	2366472	23	2768468	20	3239288	22	1704468	19
static8x8-8o.txt	2037176	16	2393032	19	2765096	15	3255500	14	1745156	14
static8x8-10o.txt	2044980	25	2382008	31	2765072	25	3296480	24	1748596	28
static8x8-17o.txt	2046504	30	2391820	29	2774836	30	3316604	36	1754980	34
static9x9-3o.txt	2114604	15	2403392	16	2811056	13	3334416	21	1754484	13
static9x9-10o.txt	2087960	21	2408652	17	2807772	21	3380828	20	1780932	19
static9x9-18o.txt	2079784	38	2416684	30	2807932	40	3340060	36	1813920	33
static10x10-7o.txt	2127780	22	2459616	27	2846196	30	3412952	26	1841452	25
static10x10-12o.txt	2140644	21	2453144	27	2845952	20	3396384	25	1891948	20
static10x10-14o.txt	2140488	21	2460428	24	2854424	23	3441972	25	1895692	25
static13x13-11o.txt	2240760	22	2487404	24	2913752	23	3518100	28	2050776	28
static13x13-20o.txt	2236476	24	2490576	21	2917988	25	3507328	22	1994876	23
static13x13-37o.txt	2195980	50	2526364	43	2933240	55	3592440	47	1974652	42
static15x15-12o.txt	2294120	36	2548332	45	2992112	35	3712940	34	2413656	39
static15x15-19o.txt	2336936	47	2565284	50	3002440	45	3768400	48	2383580	48
static15x15-34o.txt	2294368	60	2601384	62	3024800	59	3665828	60	2316928	64
static20x20-13o.txt	2796176	40	2639416	27	3231708	37	3998664	33	2657732	29
static20x20-28o.txt	2849704	30	2649356	33	3194132	30	3649956	27	2452544	29
static20x20-72o.txt	2515456	60	2693928	55	3056948	60	4187076	58	2675340	65
static25x25-17o.txt	3168252	61	2765136	48	3661120	43	4197308	45	4326264	54
static25x25-25o.txt	3160324	50	2835124	50	3522372	50	5187668	47	3272844	47
static25x25-52o.txt	3018752	96	2831936	90	3455500	83	4911692	87	4196036	93

Table 2 represents the actual output of the experiment in form of an excel document. Left side of the table holds the names of all the maps used in an experiment. Upper side holds the names of the algorithms used, with memory requirements measured in bytes [B] and time requirements in milliseconds [ms].

Concerning the time consumption, the initial planning of path in all the algorithms is identical to path planning in A\*, which means that the results of D\* and IDA\* should be comparable to those of A\*. The difference in time of LPA\* and D\* Lite compared to A\* may be created by the fact that they only expand the nodes necessary for reaching the goal node.

Regarding the memory consumption, in case of an original implementation of IDA\*, the algorithm would be on first place. To make the algorithm more efficient, memory consumption was raised to the detriment of time requirement. Memory consumption of the other algorithms is determined by the number of variables they hold.

Table 3 demonstrates how the algorithms exceeded the lowest memory and time requirements in average. As may be seen in the table, in the static environment, D\* Lite was the fastest algorithm. The order of the following algorithms regarding time is IDA\*, LPA\*, D\* and A\*. The algorithms do not have big differences in time consumption in static environment, since the difference between the fastest and the slowest algorithm is 0.4 ms.

Table 3  
Average exceed of memory and time requirements compared to the lowest requirements in static environment

A*		IDA*		D*		LPA*		D* Lite	
mem [B]	time [ms]	mem [B]	time [ms]	mem [B]	time [ms]	mem [B]	time [ms]	mem [B]	time [ms]
249871	3.2333	468888	2.9667	916489	3.1333	1570887	3.0333	181216	2.8333

Concerning memory requirements, as illustrated in Table 3, the lowest memory requirements were in D\* Lite. A\* was the second algorithm, IDA\* third, D\* fourth and LPA\* the last one.

### C. Experiment in dynamic environment

The experiment is intended for maps with dynamic obstacles, forcing the algorithms to replan the already computed path. The environment, similarly as in experiment in static environment, is also represented by graphs with randomly created nodes, start and goal node.

All five algorithms will compute the shortest path for 30 different maps. The same as in previous experiment, the names of maps represent their attributes. In case of map with dynamic obstacles, map file may be named as follows: 'dynamic5x5-3r'. In the example, 5x5 stands for number of rows and columns of a graph, creating 25 nodes altogether and number before letter *r* stands for the number of replannings required to avoid dynamic obstacle and reach a goal position. In the experiment, there are 30 maps altogether, with 10 different amounts of nodes and within each 3 different numbers of path replannings required.

Table 4  
Results of experiment in dynamic environment

	A*		IDA*		D*		LPA*		D* Lite	
	memory [B]	time [ms]	memory [B]	time [ms]	memory [B]	time [ms]	memory [B]	time [ms]	memory [B]	time [ms]
dynamic4x4-1r.txt	2154764	8	2376124	9	2772860	9	2772860	9	3840116	8
dynamic4x4-2r.txt	1945028	10	2225116	11	1974392	11	1974392	12	1628448	11
dynamic4x4-3r.txt	1947612	9	2210900	8	1963656	9	1963656	9	1619780	7
dynamic5x5-1r.txt	1959364	8	2214460	7	1975408	9	1975408	10	1639944	9
dynamic5x5-2r.txt	1963108	8	2218260	9	1979408	11	1979408	7	1643932	10
dynamic5x5-3r.txt	1965688	9	2220840	9	1981984	9	1981984	7	1646548	8
dynamic7x7-1r.txt	1988000	10	2234960	14	2004296	10	2004296	10	1693844	15
dynamic7x7-2r.txt	2009060	13	2240732	11	2011060	10	2011060	10	1740896	12
dynamic7x7-3r.txt	1997560	10	2244040	11	2027952	12	2027952	12	1732556	10
dynamic8x8-1r.txt	2010500	14	2248788	14	2043692	19	2043692	19	1802868	15
dynamic8x8-4r.txt	2016956	14	2255244	16	2050716	15	2050716	15	1821660	16
dynamic8x8-6r.txt	2021468	16	2259756	14	2055228	24	2055228	24	1814360	17
dynamic9x9-2r.txt	2050384	20	2282676	13	2041948	15	2041948	15	1734480	15
dynamic9x9-4r.txt	2042248	14	2271528	13	2034912	15	2034912	15	1729508	17
dynamic9x9-7r.txt	2046860	14	2276140	12	2039524	12	2039524	12	1734448	12
dynamic10x10-2r.txt	2059000	21	2288280	21	2149968	22	2149968	22	1951416	24
dynamic10x10-4r.txt	2085168	26	2299688	23	2176196	25	2176196	25	1975056	24
dynamic10x10-6r.txt	2076868	22	2306628	30	2169108	23	2169108	23	1969832	23
dynamic13x13-3r.txt	2185136	20	2342400	17	2195456	17	2195456	17	2042860	20
dynamic13x13-7r.txt	2211976	19	2334724	16	2222172	20	2222172	20	2043288	18
dynamic13x13-11r.txt	2201480	20	2339720	17	2212816	23	2212816	23	2060908	19
dynamic15x15-3r.txt	2255476	34	2369140	19	2281344	24	2281344	24	2126944	27
dynamic15x15-5r.txt	2286596	29	2401388	22	2283684	21	2283684	21	2156712	26
dynamic15x15-8r.txt	2277316	30	2389924	20	2304908	23	2304908	23	2163300	24
dynamic20x20-4r.txt	2600316	71	2443000	50	2777424	53	2777424	53	2498100	47
dynamic20x20-6r.txt	2627068	75	2486104	53	2824236	60	2824236	60	2528492	47
dynamic20x20-10r.txt	2641024	68	2481592	60	2838204	55	2838204	57	2542476	50
dynamic25x25-4r.txt	3370564	95	2590636	88	3068032	55	3068032	52	3252964	49
dynamic25x25-6r.txt	3410548	152	1981020	74	3111808	60	3111808	68	3296876	58
dynamic25x25-10r.txt	3423996	243	1994456	81	3125256	65	3125256	76	3338188	54



As was already explained in the previous experiment, the initial path planning of all the algorithms is almost identical to path planning in A\*. Concerning the dynamic obstacles and replanning in case of potential collision situation, D\* Lite and D\* are expected to bring the best results among all the algorithms, because they were created especially for dynamic environment and fast replanning.

Memory consumption is again mainly determined by the number of nodes each algorithm has to expand and also by the variables of class of each algorithm. It also increases linearly with the increase in number of nodes of a graph. Table 4 illustrates results of the experiment. On the left side of table there are names of maps used in the experiment. Upper side represents the algorithms used to compute the path. Under the algorithms there are columns for memory and time requirements.

As shown in Table 5, the algorithm with the least computation time is D\* Lite. The order then goes as follows: D\*, LPA\*, IDA\* and the last one is A\*.

Regarding memory consumption, the algorithm with least memory requirements is D\* Lite, which is influenced by the low number of nodes it has to examine. The other algorithms have almost identical memory consumption.

Table 5  
 Average exceed of memory and time requirements compared to the lowest requirements in dynamic environment

A*		IDA*		D*		LPA*		D* Lite	
mem [B]	time [ms]	mem [B]	time [ms]	mem [B]	time [ms]	mem [B]	time [ms]	mem [B]	time [ms]
307532	15.5	340770	4.1667	336416	3.3	325416	3.7767	172188	1.833

Actual results match again the expected results. It was expected for D\* Lite and D\* to have the best performance among all the algorithms. The expectation was right, looking especially at the difference of average exceeding time of D\* Lite, which is 1.833 and A\*, which is 15.5.

## V. CONCLUSION

Based on the experiments, all the algorithms always find the optimal path quickly and are able to replan it, if an obstacle is detected. The experiments also proved that D\* Lite algorithm is the best to be used for both static and dynamic environment, because of low time requirements and ability to replan the path changing only the nodes influenced by detected obstacles. Another advantage of D\* Lite algorithm is its memory consumption, because it only expands the nodes that are believed to be part of a path.

The problem of the implemented algorithms is that they create a path consisting of straight line segments. If implemented in real life, it would be better to make the turns smoother in order to make the robot gradually turn while moving, not turning on place as it is now.

## ACKNOWLEDGMENT

This publication arose thanks to the support of the Operational Programme Research and development for the project “Centre of Information and Communication Technologies for Knowledge Systems” (ITMS code 26220120020), co-financed by the European Regional Development Fund.

## REFERENCES

- [1] R. Siegwart, I.R. Nourbakhsh and D. Scaramuzza, *Introduction to Autonomous Mobile Robots*, 2ed, MIT Press, 2011, 453 pages.
- [2] S. Edelkamp and S. Schroedl, *Heuristic Search – Theory and Applications*, Morgan Kaufmann, 2012, 836 pages.
- [3] S. Russel and P. Norvig, *Artificial Intelligence: A modern Approach*, 3rd ed, Pearson, 2009, 1152 pages.
- [4] R. Korf, Depth-first Iterative-Deepening: An Optimal Admissible Tree Search. *Artificial Intelligence*, 27, 1985, pp.97–109.
- [5] A. Stentz, “Optimal and Efficient Path Planning for Partially-Known Environments” in *Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation*, 1994, pp. 3310–3317.
- [6] S. Koenig, M. Likhachev and D. Furcy, Lifelong Planning A\*, *Artificial Intelligence Journal*, 155(1-2), 2004, pp. 93–146.
- [7] S. Koenig and M. Likhachev, “Fast replanning for navigation in unknown terrain” in *IEEE Transactions on Robotics*. 27(3), 2005, pp. 354–363.
- [8] D. Belanová, “Path planning using search algorithms”, Bachelor Thesis, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical university of Kosice, 2017, 84 pages.

# Návrh nezávislého napájania verejného osvetlenia

<sup>1</sup>Gabriel DRAB, <sup>2</sup>Marek PAVLÍK

<sup>1,2</sup> Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>gabriel.drab@student.tuke.sk, <sup>2</sup>marek.pavlik@tuke.sk

**Abstrakt** — Príspevok sa zaoberá nezávislým napájaním verejného osvetlenia z obnoviteľných zdrojov elektrickej energie. V príspevku bola ako obnoviteľný zdroj elektrickej energie zvolená fotovoltaická (FV) elektrárňa. Na základe spotreby elektrickej energie verejným osvetlením bola navrhnutá elektrárňa s inštalovaným výkonom 30 kWp. Článok porovnáva tri typy fotovoltaických panelov z pohľadu výroby elektrickej energie a popisuje rozdiely vo výrobe, čo zároveň slúži ako podklad pre konkrétny návrh FV elektrárne.

**Kľúčové slová** — obnoviteľné zdroje energie, fotovoltaická elektrárňa, nezávislé napájanie, slnečná energia

## I. ÚVOD

Čistá energia z OZE pochádza z prírodných zdrojov Zeme - slnečné žiarenie, vietor, voda, biomasa a geotermálne teplo. Ako zdroj energie má dve veľké výhody: pri správnom používaní sa nikdy nevyčerpá ako uhlie či urán, ako aj nezaťažuje planétu a nespôsobuje nebezpečné klimatické zmeny. Pomocou OZE nedochádza k poškodzovaniu životného prostredia, je možné ich zásoby využívať opakovane. Čistá energia je použiteľná všade. Môže pokryť široké spektrum energetickej náročnosti - od zásobovania veľkých miest až po malé dediny v odľahlých lokalitách, kde nie je rozvinutá infraštruktúra a prenosové siete.

## II. SLNEČNÁ ENERGIA

Slnečná energia je najdostupnejšia a najčistejšia forma obnoviteľnej energie ktorú môžeme získať. Počas dňa za bezoblačného počasia dopadne zo Slnka na zemský povrch v priemere 1000 W/m<sup>2</sup>. Celkovo tak na Slovensku za rok dopadne na vodorovnú plochu približne 950 – 1300 kWh/m<sup>2</sup> [1].

Existuje už mnoho princípov premeny slnečnej energie na inú formu energie, najčastejšie je to premena na elektrickú a tepelnú energiu. Pri premene slnečnej energie na elektrickú rozlišujeme aktívne alebo pasívne využitie elektrickej energie [2].

Aktívne využitie elektrickej energie je prostredníctvom fotovoltaického (FV) článku. Fotovoltaický článok je veľkoplošná polovodičová súčiastka, ktorá priamo premieňa slnečnú energiu na energiu elektrickú pomocou fotovoltaického javu. Pri fotovoltaickom jave, v súvislosti s polovodičmi, sa dosahujú účinnosti vhodné na energetickú premenu. Absorpciou dopadajúceho žiarenia sa vytvoria v polovodiči záporné a kladné nosiče náboja. Je nevyhnutné, aby žiarenie malo určitú energiu, ktorej veľkosť závisí od druhu polovodičového materiálu. Je zároveň potrebné, aby absorpčný polovodičový materiál mal určitú hrúbku, ktorá tak isto závisí od druhu použitého materiálu. Osobitne výhodné pre slnečnú energetiku budú materiály, ktoré už pri nepatrných hrúbkach sú schopné zachytiť žiarenie a vytvoriť elektrónovo - dierový pár. Aby nenastala spätná rekombinácia vytvorených nosičov náboja, musia sa od seba oddeliť vytvorením PN priechodu. Potenciálová bariéra PN priechodu zabráni rekombinácii elektrónov a dier. Zväčšenie intenzity žiarenia vedie k zväčšeniu počtu elektrónov pohybujúcich sa v kove. Kinetická energia týchto elektrónov je závislá od intenzity dopadajúceho slnečného žiarenia. Dopadom fotónov na polovodičový PN prechod dochádza k uvoľňovaniu a hromadeniu voľných elektrónov. Ak je PN prechod doplnený o dve elektródy (anóda a katóda), je vytvorený FV článok, ktorým môže pretekať prúd [1][4][5].

Pasívne využitie slnečnej energie sa považuje za princíp nepriamej premeny slnečnej energie na energiu elektrickú. Tento princíp spočíva v premene energie Slnka na tepelnú energiu a

následnú premenu pomocou vhodných zariadení na elektrickú energiu. Účinnosť nepriamej premeny slnečnej energie je vyššia ako pri fotovoltaických systémoch, ak sa používajú koncentrátory, takže je možné dosahovať vyššie výkony na jednotku plochy slnečnej elektrárne [3][6][7].

### III. SÚČASNÝ STAV

Príspevok je zameraný na návrh nezávislého napájania verejného osvetlenia v obci z fotovoltaiky. Staré žiarovkové osvetlenie bolo v roku 2016 vymenené kompletne v celej obci za nové šetrné LED svietenie. Pohľad na súčasný stav je možné vidieť na Obr.1. Prvým krokom bolo zistenie požadovaných parametrov daného osvetlenia, výkon a počet svietidiel. Parametre svietidiel verejného osvetlenia v obci sú zobrazené v Tab. 1.

Tabuľka 1  
Parametre svietidiel v obci

Typ svietidla	Výkon	Príkon	Počet	Jednotková cena	Spolu
LED	30 W	31,5 W	193 ks	212 €	42 400 €

Svietidlá musia byť prispôsobené tak, aby sa dali priamo pripojiť na napätovú úroveň 230V. Šošovka musí zabezpečovať asymetrickú distribúciu svetla pod uhlom aspoň 50 stupňov na výšku a 110 stupňov na šírku svietidla. Životnosť zdrojov LED garantovaná výrobcom musí byť minimálne 100 000 hodín prevádzky. Svetidlo musí byť vybavené prírubou pre uchytenie na výložník. Svetidlá boli inštalované na už existujúce stĺpy distribučnej 0,4 kW siete.



Obr. 1 Súčasný stav verejného osvetlenia v obci

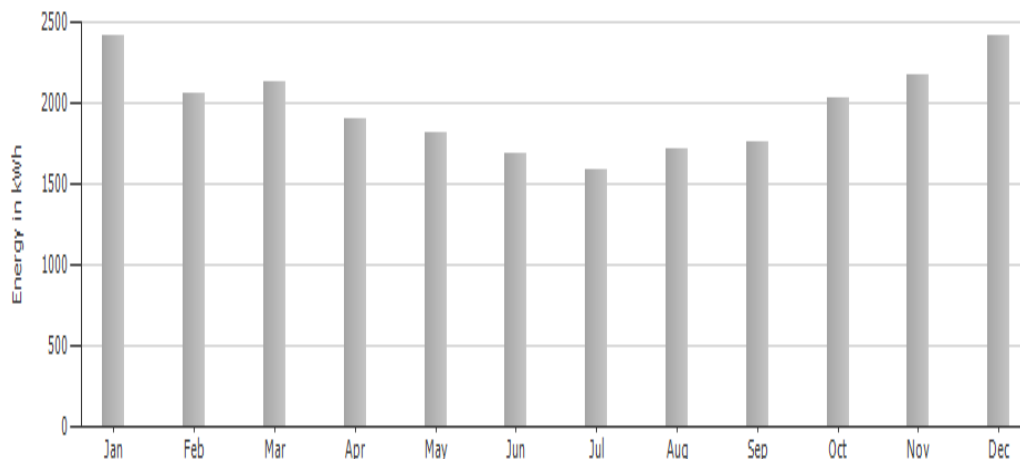
K návrhu FV systému bolo potrebné zistiť ďalšie parametre ako počet hodín svietenia a celková spotreba elektrickej energie za rok. Po zistení počtu hodín svietenia je možné aj vypočítať celkovú spotrebu elektrickej energie za rok.

Počet hodín svietenia ročne:  $t = 3900$  h  
Príkon LED svietidla:  $P = 31,5$  W  
Počet svietidiel:  $n = 193$  ks

Celková spotreba elektrickej energie je 23710 kWh/rok. Špičkový momentálny výkon osvetlenia je počas zimných mesiacoch, keď je osvetlenie zapnuté väčší počet hodín, približne 6,1 kW.

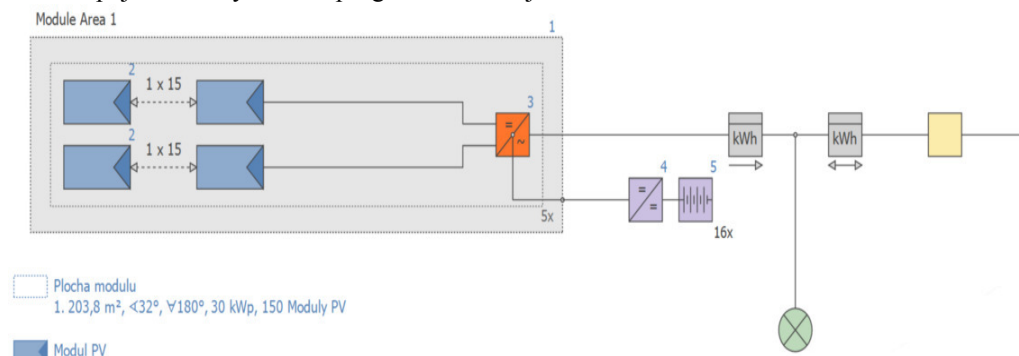
### IV. NÁVRH FOTOVOLTICKÉHO SYSTÉMU

Návrh nezávislého napájania verejného osvetlenia v obci bol realizovaný v programe PV sol, ktorý slúži pre tento účel. V programe PV Sol bola vyhodnotená zadaná spotreba elektrickej energie 23 710 kWh/rok. Boli zadané klimatické podmienky, t.j. súradnice zemepisnej dĺžky a šírky, oblasť v ktorej sa nachádza obec. Podľa množstva dopadajúcej slnečnej energie a počtu dní v danom mesiaci, program rozpočítal mesačnú spotrebu počas celého roka - Obr.2.



Obr. 2 Mesačná spotreba elektrickej energie vo verejnom osvetlení

Pomocou programu PV Sol boli navrhnuté komponenty pre optimálne riešenie FV systému. Schéma zapojenia FV systému v programe PV Sol je zobrazená na Obr.3.



Obr. 3 Schéma FV systému pre napájanie verejného osvetlenia v obci

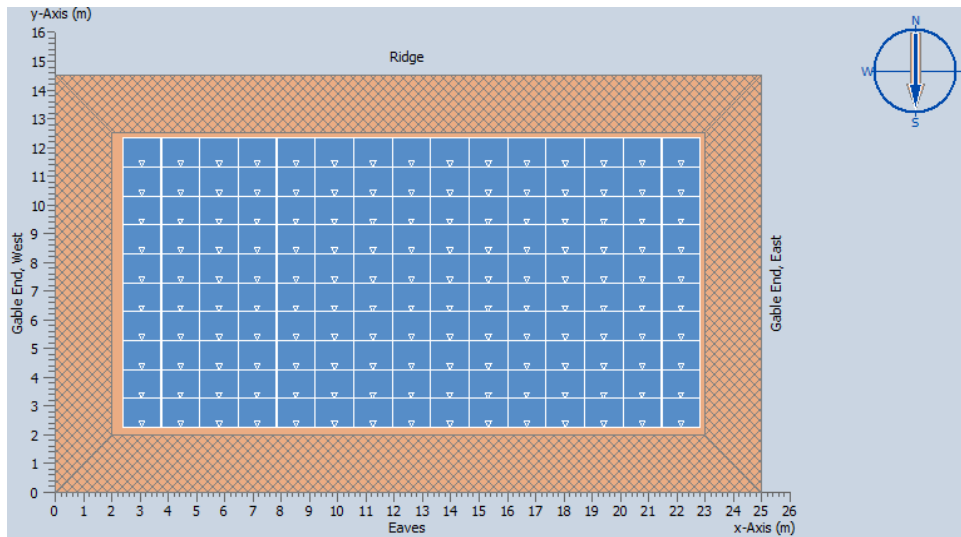
Principiálne, systém pozostáva z FV panelov, regulátora nabíjania, batérie, striedača a elektrickej inštalácie.

Pred samotným návrhom je potrebné zvoliť konkrétny typ FV panela. Do úvahy pripadajú tri typy – monokryštalický, polykryštalický a amorfný FV panel. V programe PV sol bola vytvorená simulácia výroby elektrickej energie zo všetkých troch druhov FV panelov a s inštalovaným výkonom 30kWp. Simulácie boli vykonané pri orientácii panelov smerom na juh a pri sklone 30°. Výsledky simulácie sú zobrazené v Tab.2, kde je možné vidieť, že najviac elektrickej energie počas roka vyrobí polykryštalický FV panel. Na základe tohto výsledku bol pri ďalšom návrhu uvažovaný tento typ FV panela..

Tabuľka 3  
 Porovnanie výroby elektrickej energie pri rôznych FV paneloch

Typ panela	Výroba elektrickej energie [kWh/rok]
Monokryštalický FV panel	30 706
Polykryštalický FV panel	33 565
Amorfný FV panel	32 380

Pre účely návrhu FV systému boli zvolené polykryštalické FV panely Sunmodule Plus SW 200. Na základe ročnej spotreby elektrickej energie a ďalších vstupných parametrov bol zvolený inštalovaný výkon FV systému na 30 kWp. Pohľad na FV elektrárňu v simulačnom programe je zobrazený na Obr.4. Parametre FV elektrárne sú zobrazené v Tab.3.

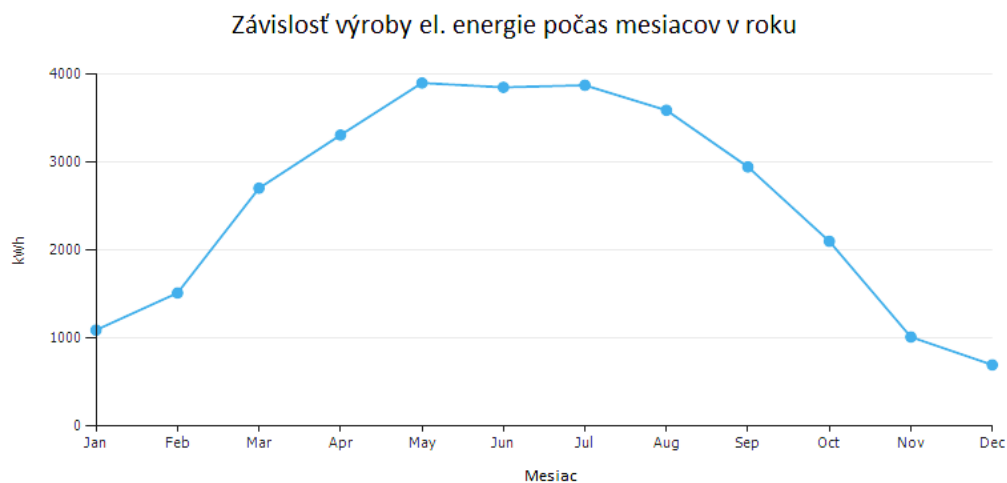


Obr. 4 Pohľad na FV elektrárň s inštalovaným výkonom 30 kWp v simulačnom programe PV sol

Tabuľka 3  
 Parametre FV elektrárne

Výkon FV systému	30 kWp
Rozloha FV systému	203,8 m <sup>2</sup>
Globálne žiarenie na modul	1264,6 kWh/m <sup>2</sup>
Výroba el. energie	30 592 kWh/rok
Ročný výnos FV systému	1015 kWh/kWp
Koeficient využitia zariadenia (PR)	79,6 %

Na Obr.5 je možné vidieť výrobu elektrickej energie z FV elektrárne počas roka. Podľa očakávania, najviac vyrobenej elektrickej energie je počas letných mesiacov máj až august a najmenej vyrobenej elektrickej energie je počas zimných mesiacov.

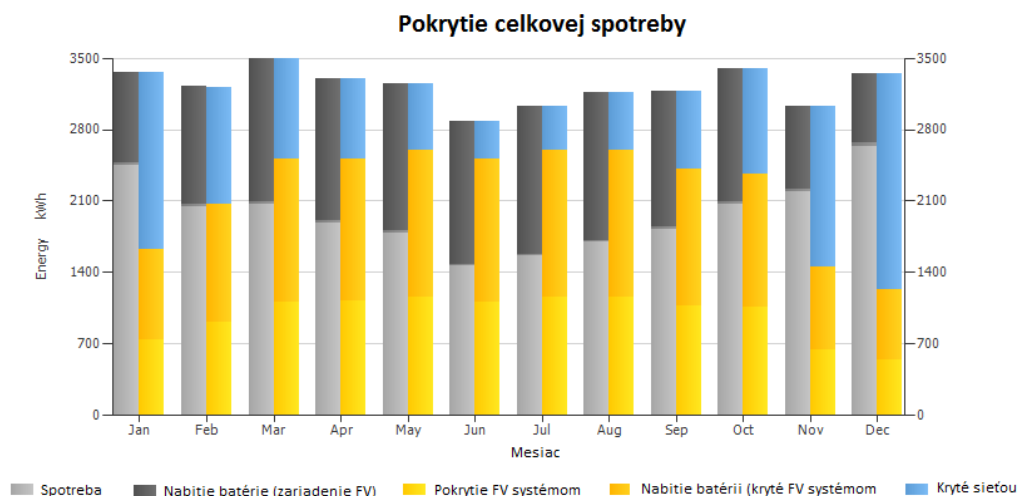


Obr. 5 Výroba elektrickej energie z FV elektrárne počas roka

Vzhľadom na to, že počas roka výroba elektrickej energie nepokryje stopercentne potreby spotreby elektrickej energie verejného osvetlenia, dodatočné napájanie bolo realizované z distribučnej siete, ktorá je už vybudovaná.

Na Obr.6 je znázornené celkové pokrytie spotreby (vyznačené sivou farbou). V tomto prípade ide o využitie energie pre verejné osvetlenie v obci. Väčšia časť spotreby je napájaná z FV systému, ktorý počas dňa uloží získanú elektrickú energiu do priložených batérii. Napájanie z FV systému a z batérii je v grafe vyznačené žltou farbou. Nadimenzovanie správnych batérii zvyšuje účinnosť FV systému. Kapacita batérie musí zabezpečiť dodávku elektrickej energie osvetleniu počas celej noci. Pri dimenzovaní batérii sa udáva čas autonómie, zvyčajne 2 až 5

dni, kedy batérie musia dodávať energiu aj keď nebudú počas dňa úplne nabité, napríklad vplyvom zlého počasia. Pokiaľ v batérii poklesne napätie, FV systém prepne prevádzku na odber elektrickej energie z distribučnej siete, ktorá je vyznačená v grafe modrou farbou. Tmavo sivá farba znázorňuje spotrebu elektrickej energie z distribučnej siete pre dobíjanie batérii.



Obr. 6 Pokrytie celkovej spotreby verejného osvetlenia v obci

Z Obr.6 vyplýva, že FV systém pokrýva viac spotreby ako sieť takmer počas celého roka. Výnimkami sú mesiace január a november, kedy FV systém pokryje takmer 50 % spotreby. Najnižšia účinnosť FV systému je v mesiaci december 36,6 %. V mesiacoch marec a október je pokrytie spotreby FV systémom okolo 70 %. Z Obr.6 je zrejmé, že najväčšia účinnosť FV systému v mesiaci jún, kedy je pokrytá spotreba až 87 %. Navrhovaný FV systém pokryje celkovú spotrebu priemerne počas celého roka na 68,5 % čo znamená, že FV systém by bol efektívne využívaný.

## V. ZÁVER

Príspevok je zameraný na nezávislé napájanie verejného osvetlenia v obci. Príspevok poukazuje na rozdiely vo výrobe z rôznych typov FV panelov. Skúmanými boli tri typy FV panelov – monokryštalický, polykryštalický a amorfný – s inštalovaným výkonom 30 kWp. Tento inštalovaný výkon bol zvolený na základe vstupných údajov o spotrebe elektrickej energie verejným osvetlením. Ako najefektívnejší FV systém bol vyhodnotený polykryštalický, ktorý dosahoval v priebehu roka najvyššie hodnoty množstva vyrobenej elektrickej energie. Tieto hodnoty boli skúmané pri orientácii na juh a sklone panelov 30°, čo sa v slovenských klimatických podmienkach považuje za ideálny stav. Vzhľadom na výsledky porovnania, navrhovaný systém pozostáva z polykryštalických panelov.

Z výsledkov simulácie vyplýva, že navrhovaný FV systém pokryje takmer 70% spotreby elektrickej energie spotrebovanej verejným osvetlením. Pre porovnanie, ak by bol použitý monokryštalický panel, pokrytie spotreby počas roka by bolo približne 52%. Pri amorfnom o niečo vyššia.

## POĎAKOVANIE

Táto práca vznikla na základe podpory vedeckej grantovej agentúry VEGA MŠVVaŠ SR a SAV č. projektu 1/0132/15 Výskum prieniku vysokofrekvenčného elektromagnetického poľa cez stavebné ekologické materiály.

Táto práca vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Ochrana obyvateľstva Slovenskej republiky pred účinkami elektromagnetického poľa, s kódom ITMS: 26220220145, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

#### LITERATÚRA

- [1] Mastný, P. a kol.: Obnoviteľné zdroje elektrické energie, České vysoké učení technické v Praze, 2011, 257 s., ISBN 978-80-01-04937-2.
- [2] Radosavljevič, J. – Đorđević, A.: Defining of the intensity of solar radiation on horizontal and oblique surfaces on Earth, Working and Living Environmental Protection Vol. 2, No 1, 2001, s. 77–86, ISSN 0354 – 804X.
- [3] Cenka, M.: Obnovitelné zdroje energie, FCC Public, 2001, Praha, Česká republika, ISBN: 80-901985-8-9.
- [4] Kolcun, M. - Chladný, V. - Mešter, M. - Cimbala, R. - Tkáč, J. - Hvizdoš, M. - Rusnák, J.: Elektrárne. Technická univerzita v Košiciach, 2006, 453 s. ISBN 80-8073-704-5.
- [5] Tkáč, J. – Hvizdoš, M.: Netradičné zdroje energie, Technická univerzita v Košiciach, 2012, Košice, 120 s., ISBN 978-80-553-0924-8.
- [6] Kolcun, M. et al.: Využitie obnoviteľných zdrojov energie a ich aplikácií v rámci projektu VUKONZE, Technická univerzita v Košiciach, 2014, 312 s., ISBN 978-80-553-1642-0, [online]. [cit 2016-12-06]. Dostupné na internete: [vhttp://people.tuke.sk/dusan.medved/26220220064/clanky/VUKONZE.pdf](http://people.tuke.sk/dusan.medved/26220220064/clanky/VUKONZE.pdf).
- [7] Bažinka, R.: Solární články, panely a fotovoltaické systémy. [online]. [cit 2016-12-01]. Dostupné na internete: [http://www.mpo-efekt.cz/dokument/98\\_8050.pdf](http://www.mpo-efekt.cz/dokument/98_8050.pdf).

# Rozpoznávanie základných emócií človeka pomocou EEG signálov

Matúš TÓTH, Tomáš KOCTÚR, Ján STAŠ

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií  
Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach  
Park Komenského 13, 042 10 Košice, Slovenská republika

matus.toth.2@student.tuke.sk, tomas.koctur@tuke.sk, jan.stas@tuke.sk

**Abstrakt** – Tento článok je venovaný problematike rozpoznávania základných emócií človeka pomocou elektroencefalografických (EEG) signálov. Ako vstupné dáta sme použili záznamy EEG signálov z voľne dostupnej databázy SEED. V rámci tejto práce sme navrhli spôsob spracovania EEG signálov, eliminácie artefaktov, filtrácie frekvenčných pásiem pomocou krátkodobej Fourierovej transformácie a extrakcie príznakov na báze diferenčnej entropie. Experimenty boli orientované na rozpoznávanie pozitívnej, negatívnej a neutrálnej emócie pomocou neurónovej siete s jednou skrytou vrstvou a meniacim sa počtom neurónov na skrytej vrstve. Najlepšie výsledky rozpoznávania základných emócií sme dosiahli pri snímaní EEG signálov pomocou elektródy  $FT_8$ , na rozmedzí frontálnej a temporálnej oblasti na pravej strane mozgu, kde celková úspešnosť dosahovala hodnotu 61,1%.

**Kľúčové slová** – artefakty, diferenčná entropia, elektroencefalografický signál, extrakcia príznakov, krátkodobá Fourierova transformácia, neurónové siete, rozpoznávanie emócií

## I. ÚVOD

Rozpoznávanie emócií predstavuje významnú oblasť výskumu, ktorá je dôležitá pri navrhovaní a vyvíjaní rozhraní a systémov na komunikáciu človeka so strojom (z angl. *human-computer interface*, skr. HCI). V súčasnosti existuje viacero spôsobov rozpoznávania emócií, ktoré vychádzajú z princípov rozpoznávania reči [1], [2], textu [3], výrazu tváre [4], alebo pohybov tela [5].

Mozog ako najkomplexnejší orgán ovláda inteligenciu, zmysly, pohyby tela a správanie ľudského jedinca. Ľudský mozog navyše pozostáva z viacerých častí, ktoré sú vo svojej podstate jedinečné a dokážu navzájom spolupracovať [6]. Práve v mozgu sa generujú elektromagnetické signály, ktoré kontrolujú ľudské emócie. Signály pochádzajúce z mozgu je možné zaznamenať, či už snímaním veľmi jemných zmien v magnetickom poli okolo hlavy pomocou tzv. magnetoencefalografie alebo priamo snímaním elektrickej aktivity na povrchu mozgu pomocou elektroencefalografie.

Snímanie elektroencefalografických (EEG) signálov môže byť vykonávané invazívne alebo neinvazívne. Invazívne snímanie je vykonávané špeciálnymi elektródami, ktoré sa implantujú chirurgicky na povrch mozgu alebo priamo do mozgu. Pri neinvazívnom snímaní sa používajú povrchové elektródy umiestnené pozdĺž horizontálnej a vertikálnej osi na tzv. EEG čiapke. V tomto prípade ide o bezpečné a bezbolestné snímanie.

Súčasný stav v oblasti analýzy a spracovania EEG signálov vychádza z poznatkov, ktoré vzišli z viacerých špičkových laboratórií a od svetovo uznávaných osobností, akým je napr. Dr. Saeid Sanei z Katedry počítačových vied na Univerzite v Surrey v Guildforde vo Veľkej Británii. Čo je však dôležité spomenúť, je skutočnosť, že vo všetkých spomenutých úlohách je potrebné mozgové signály najprv správne nasnímať, spracovať, eliminovať šum v analyzovaných kanáloch, extrahovať vhodné príznaky pre konkrétny druh mozgových vln, a využiť vhodné algoritmy na detekciu, resp. klasifikáciu vybraných udalostí v zaznamenaných EEG signáloch [7].

Tento článok opisuje jeden z najnovších spôsobov rozpoznávania základných emócií človeka pomocou EEG signálov. Uvedený spôsob je použitý najmä z dôvodu, že v porovnaní s inými metódami, ako je rozpoznávanie emócií z reči alebo výrazu tváre, sa považuje za jeden z najspoľahlivejších, ale aj najzložitejších vôbec [8]. V úvodnej časti článku sme sa zamerali na výber pozície jednej alebo viacerých elektród, extrakciu frekvenčných pásiem, z ktorých bol odstránený šum a na výpočet koeficientov diferenčnej entropie. Experimenty boli orientované na rozpoznávanie emócií pomocou neurónovej siete s jednou skrytou vrstvou. Vstupné dáta obsahovali záznamy EEG signálov z databázy SEED [9] určenej na analýzu a rozpoznávanie základných emócií človeka, t.j. pozitívnej, negatívnej a neutrálnej emócie, pri pozeraní krátkych filmových ukážok.



## II. DATABÁZA SEED

Medzi najznámejšie databázy vytvorené pre účely rozpoznávania emócií z EEG signálov patria databázy projektu Enterface [10], DEAP [11] a SEED [9]. V rámci tejto práce bola použitá databáza SEED, ktorá obsahuje nasledujúce zložky [9]:

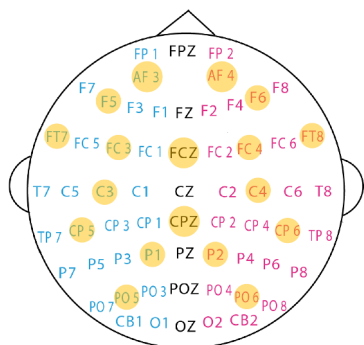
- **Stimuli** - vizuálne evokované potenciály, resp. podnety, ktoré mali u pozorovaných subjektov vyvolať jednu zo súboru troch základných emócií. Podnety tvorilo 15 krátkych filmových ukážok s priemernou dĺžkou 4 minúty (pozri Tab. 1). Filmové ukážky boli vyberané tak, aby u pozorovaných subjektov vyvolali pozitívnu, negatívnu, alebo neutrálnu emóciu.
- **Subject\_list** - zoznam mien pozorovaných subjektov, podľa ktorých boli pomenované súbory. Každý súbor obsahuje záznam EEG signálov len jedného pozorovaného subjektu.
- **Data\_preprocessed** - predspracované záznamy EEG signálov vo formáte `.mat` so vzorkovacou frekvenciou 200 Hz. Tieto záznamy boli upravené tak, aby ich dĺžka zodpovedala dĺžke filmových ukážok, a použité ako podnet pre vyvolanie požadovaných emócií. Na záznamy bol aplikovaný pásmový priepust v rozsahu frekvencií 0–75 Hz. Celkovo sa v databáze nachádza 45 súborov, kde jeden `.mat` súbor v sebe obsahuje 15 záznamov EEG signálov. Každý pozorovaný subjekt podstúpil experiment 3 krát s odstupom jedného týždňa.
- **Extracted\_features** - extrahované koeficienty diferenciálnej entropie (DE), diferenciálnej asymetrie (DASM) a racionálnej asymetrie (RASM) z predspracovaných záznamov EEG signálov, spracované a rozdelené pomocou krátkodobej Fourierovej transformácie (STFT) do piatich frekvenčných pásiem na alfa, beta, gama, delta a theta vlny.
- **Labels** - súbory vo formáte `.mat` obsahujúce 15 prvkový vektor s označením emócie (-1 pre negatívnu, 0 pre neutrálnu a 1 pre pozitívnu emóciu).

Tabuľka 1: Príklad filmových ukážok použitých ako podnety pre vyvolanie emócií.

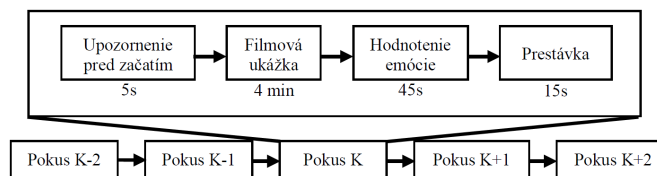
p. č.	vyvolaná emócia	zdroj filmovej ukážky
1	negatívna	Tangshan zemetrasenie
2	negatívna	Späť do roku 1942
3	pozitívna	Stratený v Thajsku
4	pozitívna	Flirtujúci učeň
5	pozitívna	Len ďalšia Pandorina skrinka
6	neutrálna	Svetové dedičstvo Číny

Mozgové signály boli zaznamenávané pomocou EEG čiapky s 62 elektródami (Obr. 1) rozloženými podľa medzinárodného štandardu 10-20 [12]. Do experimentu bolo zapojených celkovo 15 študentov Šanghajskej Univerzity Jiao Tonga, konkrétne 7 mužov a 8 žien s priemerným vekom 23,27 rokov. Pozorované subjekty sa zúčastnili pokusu celkovo 3 krát s odstupom jedného týždňa.

Priebeh záznamu EEG signálov v databáze SEED je možné vidieť na Obr. 2. Záznam EEG signálov prebiehal tak, že pozorovaný subjekt bol 5 sekúnd pred každou filmovou ukážkou upozornený na začiatok experimentu. Po 4 minútovej ukážke mal subjekt za úlohu vyplniť dotazník, kde ohodnotil svoju emóciu počas jej trvania. Po 15 sekundovej prestávke experiment pokračoval až do chvíle, pokiaľ si pozorované subjekty nepozreli všetky filmové ukážky.



Obr. 1: Rozmiestnenie elektród na EEG čiapke podľa medzinárodného štandardu 10-20.



Obr. 2: Priebeh experimentu a záznamu EEG signálov v databáze SEED.

## III. POUŽITÉ METÓDY RIEŠENIA

### A. Predspracovanie záznamov EEG signálov

Nespracovaný EEG signál dosahuje amplitúdy rádovo v jednotkách až desiatkach  $\mu\text{V}$  a frekvencie od 0 do 300 Hz. Aby sa v zázname uchovala užitočná informácia, musí sa EEG signál

predtým ako prejde analógovo-číslicovým prevodníkom zosilniť. Záznam EEG signálu tak bude dostatočne vhodný pre zobrazenie a ďalšie spracovanie.

Počas záznamu EEG signálu sú s užitočným signálom zaznamenané aj ďalšie nežiaduce rušenia, nazývané aj artefakty. Najčastejším zdrojom artefaktov sú pohyby svalov, očí, očných viečok, alebo nedokonalosti spôsobené technickým vybavením na záznam EEG signálov. Z toho dôvodu, môžeme hovoriť o dvoch základných zdrojoch artefaktov, a to artefakty spôsobené meraným subjektom a tie, ktoré majú technický pôvod. Artefakty spôsobené meraným subjektom sú nežiaduce signály, ktoré majú fyziologický pôvod, ako je dýchanie, žmurkanie, tlkot srdca, sťahovanie svalov a pod. Medzi technické artefakty radíme napr. šumy v elektrickej sieti, artefakty spôsobené zdrojom elektrickej energie, zvýšenou impedanciou elektród, chybným meraním a pod.

Na odstraňovanie artefaktov sa používajú filtre. Výber správneho filtra závisí potom od rozsahu frekvencií signálu, ktoré chceme spracovať. V prípade EEG signálov sa na odstránenie šumu s vyššími frekvenciami používajú dolno-priepustné filtre s medznou frekvenciou približne 70 Hz a horno-priepustné filtre s medznou frekvenciou zvyčajne pod 0,5 Hz, ktoré sa používajú na odstránenie nízko-frekvenčných zložiek spôsobených napr. dýchaním. Technické artefakty spôsobené napájacími zdrojmi elektrickej energie sú odstraňované pásmovou zádržou s frekvenciou 50 Hz.

### B. Extrakcia základných príznakov

Po predspracovaní EEG signálov je potrebné z týchto dát získať užitočnú informáciu. Tento proces nazývame extrakcia základných príznakov. Existuje viacero techník, ktoré sa používajú pri extrakcii príznakov, konkrétne:

- analýza hlavných komponentov (z angl. *principal component analysis*, skr. PCA);
- diskretná waveletová transformácia (z angl. *discrete wavelet transform*, skr. DWT);
- krátkodobá Fourierova transformácia (z angl. *short-time Fourier transform*, skr. STFT).

V tomto výskume sme sa pri extrakcii základných príznakov zamerali len na použitie krátkodobej Fourierovej transformácie, ktorú v nasledujúcom odstavci v krátkosti opíšeme.

STFT je definovaná ako diskretná Fourierova transformácia v intervale ohraničenom oknovou funkciou. Princíp STFT je nasledovný: vynásobíme signál  $x(\tau)$ , ktorý má byť analyzovaný s určitým typom symetrickej oknovej funkcie  $w(n - \tau)$  konštantnej dĺžky a potom vypočítame Fourierovu transformáciu jednotlivých úsekov signálu  $X(n, \omega)$  podľa vzťahu [7]:

$$X(n, \omega) = \sum_{\tau=-\infty}^{\infty} x(\tau)w(n - \tau)e^{-j\omega\tau}, \quad (1)$$

kde  $n$  udáva pozíciu okna  $w(n)$  v čase. Analogicky s periodogramom pre spektrogram platí:

$$S_x(n, \omega) = |X(n, \omega)|^2. \quad (2)$$

Vychádzajúc z princípu neistoty, ak  $\sigma_t^2 \sigma_\omega^2 \geq \frac{1}{4}$ , kde  $\sigma_t^2$  a  $\sigma_\omega^2$  predstavujú časový a frekvenčný rozptyl, je nemožné dosiahnuť dokonalé rozlíšenie súčasne v časovej a frekvenčnej oblasti. Na odstránenie diskontinuit na hranách jednotlivých blokov a na udržanie pozitívnych hodnôt energetického spektra sa používajú oknové funkcie. Najpoužívanejšími oknovými funkciami sú pravouhlé, Hammingovo, Hanningovo, resp. Hannovo okno. Voľba oknovej funkcie tiež ovplyvňuje spektrálne rozlíšenie výslednej techniky a korešponduje s minimálnou frekvenčnou separáciou potrebnou pre rozlíšenie dvoch komponentov s rovnakou amplitúdou [7].

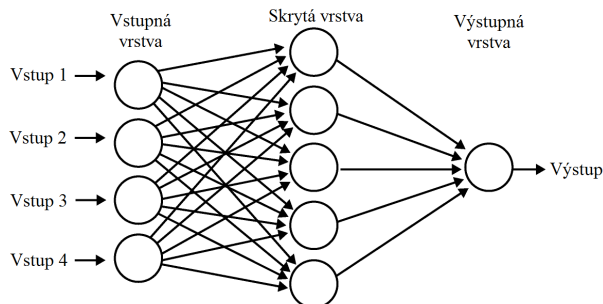
### C. Rozpoznávanie emócií a neurónové siete

Po extrakcii základných príznakov je vo finálnej fáze na rozpoznanie konkrétnej emócie použitá jedna z klasifikačných metód. Medzi najviac používané klasifikačné metódy patria:

- algoritmus  $k$ -najbližších susedov (z angl. *k-nearest neighbors*);
- metóda podporných vektorov (z angl. *support vector machines*);
- neurónové siete (z angl. *neural networks*).

Experiment, ktorému sa tento článok venuje, používa na klasifikáciu emócií neurónové siete.

Neurónové siete predstavujú biologicky inšpirovaný prístup k inteligentnému spracovaniu informácií. Sú schopné spracovať veľké množstvo údajov a sú veľmi vhodné na rozpoznanie a klasifikáciu vzorov do tried (z angl. *pattern recognition and classification*). Vzory treba v tomto prípade chápať ako abstraktné entity a nemusí sa jednať vždy len o vizuálne vzory. Vo všeobecnosti vedú neurónové siete riešiť najrôznejšie asociatívne úlohy. Aj rozpoznanie, či klasifikáciu vzorov môžeme chápať ako asociáciu, a to asociáciu vzoru s jeho triedou. Ak vieme nejaký problém formulovať ako asociatívnu úlohu, môžeme potom použiť neurónové siete.



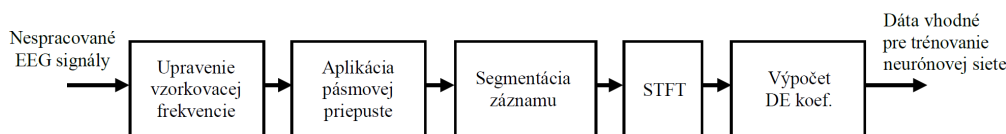
Obr. 3: Zjednodušený model neurónovej siete.

Typicky je neurónová sieť tvorená vstupnou a výstupnou vrstvou a jednou alebo viacerými skrytými vrstvami. Každá z týchto vrstiev je tvorená skrytými neurónmi poprepájanými medzi sebou. Zjednodušený model neurónovej siete je znázornený na Obr. 3.

Vstupnú vrstvu neurónovej siete tvoria nezávislé premenné týkajúce sa určitého problému. Napríklad vstupná vrstva pre identifikáciu hovoriaceho v rozpoznávaní reči pomocou neurónových sietí môže obsahovať informácie o jeho pohlaví, hlasových charakteristikách, základnej frekvencii reči, rýchlosti rečového prehovoru, a pod. Výstupná vrstva potom predstavuje riešenie problému. V prípade uvedeného príkladu to bude práve identifikovanie hovoriaceho v skupine hovoriacich.

#### IV. NÁVRH SYSTÉMU NA ROZPOZNÁVANIE EMÓCII POMOCOU EEG SIGNÁLOV

Proces predspracovania EEG signálov a extrakcie základných príznakov pre tréning neurónovej siete je zobrazený na Obr. 4.



Obr. 4: Bloková schéma predspracovania EEG signálov a extrakcie základných príznakov.

Vzorkovacia frekvencia pôvodného EEG signálu bola upravená na hodnotu 200 Hz a aplikovaný bol tiež pásmový priepust s medznými frekvenciami 0 až 75 Hz. Následne bol záznam skrátený na dĺžku zodpovedajúcu dĺžke filmových ukážok. Zo záznamu boli odstránené artefakty EOG a EMG spôsobené pohybom očí a svalov pomocou série filtrov [9].

Po odstránení artefaktov bola použitá 256-bodová krátkodobá Fourierova transformácia (STFT) s pohyblivých neprekrývajúcim sa Hanningovým oknom o dĺžke 1 sekundy. Následne boli pre každé frekvenčné pásmo vypočítané energetické koeficienty DE. Podľa [13] platí, že pre jeden segment EEG signálu s fixnou dĺžkou je koeficient DE rovný logaritmickému hodnoty energetického spektra v určitom frekvenčnom pásme. Z toho dôvodu mohli byť koeficienty DE vypočítané pre 5 rôznych frekvenčných pásiem (t.j. pre vlny delta: 0,5–4 Hz, théta: 4–8 Hz, alfa: 8–12 Hz, beta: 12–35 Hz a gama: 35–50 Hz) s asymptotickou zložitou  $O(KN \log N)$ , kde  $K$  predstavuje počet elektród a  $N$  počet vzoriek. Pôvodný vzťah pre výpočet týchto koeficientov vyzerá nasledovne:

$$h(X) = - \int_X f(x) \log [f(x)] dx. \quad (3)$$

Ak náhodná premenná má Gaussové rozdelenie  $N(\mu, \sigma^2)$ , tak DE môžu byť vyjadrené ako:

$$h(X) = - \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \log \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \right) dx = \frac{1}{2} \log(2\pi e\sigma^2). \quad (4)$$

Na tréning neurónovej siete boli v tomto experimente použité sada nástrojov Neural Network Toolbox<sup>1</sup> a na rozpoznávanie emócií sme aplikovali nástroj na rozpoznávanie vzorov Pattern Recognition and Classification v programovom prostredí MATLAB. Na vstup neurónovej siete tak boli privádzané extrahované príznaky z predspracovaných záznamov EEG signálov z databázy SEED vo forme koeficientov DE. Výstupom boli matice (pozri Tab. 2) vytvorené zo súboru Labels.mat, v ktorých sa nachádzajú údaje o vyvolávaných emóciách pre každú filmovú ukážku a jedno meranie. Slpce v tejto tabuľke označujú poradové číslo filmovej ukážky (spolu 15 filmových ukážok s priemernou dĺžkou 4 minúty) a v riadkoch je označený druh emócie pre každú filmovú ukážku zvlášť. Experiment bol založený na rozpoznávaní pozitívnej, negatívnej a neutrálnej emócie.

<sup>1</sup><https://www.mathworks.com/help/nnet/index.html>

Tabuľka 2: Príklad referenčnej matice pozorovaní pre jeden meraný subjekt.

ukážka číslo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
pozitívna emócia	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0
negatívna emócia	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
neutrálna emócia	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1

## V. EXPERIMENTY A VÝSLEDKY

### A. Opis experimentu

Jedným z cieľov tohto výskumu bolo ohodnotiť a nájsť vhodnú pozíciu elektródy, resp. skupiny elektród, ktoré sú najvhodnejšie na rozpoznávanie emócií pomocou neurónovej siete v programovom prostredí MATLAB. Na Obr. 1 sú žltou farbou znázornené všetky testované elektródy.

Predspracovanie záznamov EEG signálov v sebe zahŕňalo niekoľko krokov. Prvým krokom bola úprava vzorkovania a aplikácia pásmových priepustov s cieľom odstrániť artefakty spôsobené nežiaducimi fyziologickými procesmi. Následne bola na takto upravené dáta aplikovaná krátkodobá Fourierova transformácia. Aplikáciou STFT sme získali 5 frekvenčných pásiem pre každý záznam EEG signálov (spolu 45 záznamov) nachádzajúci sa v databáze SEED. Výsledkom tohto procesu bolo 45 vektorov s piatimi vrstvami, kde každá vrstva predstavovala jedno z frekvenčných pásiem (pre alfa, beta, gama, delta a theta vlny). Posledným krokom predspracovania bol výpočet diferencnej entropie pre každé frekvenčné pásmo a každý záznam zvlášť.

V každom frekvenčnom pásme bol v ďalšom kroku vypočítaný aritmetický priemer a modus. Všetky koeficienty boli následne uložené do jednej matice slúžiacej ako vstup do neurónovej siete. Keďže sa v databáze nachádzalo 45 súborov a každý súbor v sebe obsahoval 15 záznamov EEG signálov, rozmer výslednej matice bol  $5 \times 2 = 10$  riadkov a  $5 \times 45 = 630$  stĺpcov. Výsledná matica mala rozmer  $10 \times 630$  len v prípade testovania jednej elektródy. V rámci experimentu sme testovali aj viacero elektród súčasne (pozri Tab. 3). V prípade, že sme použili 2 alebo 4 elektródy súčasne, počet riadkov tejto matice bol potom 2- alebo 4-násobný.

Natréňovanie neurónovej siete prebehlo v treťom kroku. Nástroj na rozpoznávanie vzorov `Pattern Recognition and Classification` v programovom prostredí MATLAB umožňuje upresniť počet skrytých vrstiev, počet neurónov na skrytej vrstve a percentuálne zastúpenie vzoriek určených na tréňovanie, validáciu a testovanie neurónovej siete. V experimentoch bola použitá neurónová sieť s jednou skrytou vrstvou. Menili sme len počet neurónov na skrytej vrstve.

Na tréňovanie neurónovej siete sme zvolili štandardne 70% všetkých vzoriek od každého meraného subjektu, ďalších 15% vzoriek bolo určených na validáciu a zvyšných 15% na testovanie.

Počet neurónov na skrytej vrstve bol určený niekoľkými rôznymi spôsobmi. Prvý spôsob určenia počtu neurónov na skrytej vrstve sa riadil nasledujúcim vzťahom:

$$N \cong (x + y)^{\frac{1}{2}} + 1, \quad (5)$$

kde  $N$  predstavuje počet neurónov na skrytej vrstve,  $x$  počet vstupov a  $y$  počet výstupov neurónovej siete. Použitím uvedeného vzorca bola vytvorená neurónová sieť so 14 neurónmi na skrytej vrstve. Ďalším spôsobom určenia počtu skrytých neurónov bol výber podľa počtu vstupov a výstupov. Takto bola vytvorená neurónová sieť s 3 a 10 skrytými neurónmi. S cieľom ohodnotenia zmeny veľkosti chyby sme tiež zvýšili počet skrytých neurónov na 10-násobok. Spolu sme tak ohodnotili neurónové siete s 3, 10, 14, 30, 100 a 140 neurónmi na skrytej vrstve.

Po úspešnom natréňovaní neurónovej siete mohlo prebehnúť hodnotenie a zápis výsledkov vo forme konfúznej matice a porovnanie s referenčnými hodnotami zobrazenými v Tab. 2.

### B. Dosiahnuté výsledky

Kvôli lepšej prehľadnosti sme zostavili Tab. 3 len výsledkov 10 najlepších hodnotení spomedzi všetkých 144 experimentov vykonaných pre jednu alebo kombináciu 2 resp. 4 elektród. Najlepšie výsledky úspešnosti rozpoznania základných emócií sme dosiahli pri snímaní pomocou elektródy s označením  $FT_8$  nachádzajúcej sa na rozmedzí frontálnej a temporálnej oblasti na pravej strane mozgu, kde celková úspešnosť dosahovala hodnotu 61,1%. O trochu horšie výsledky boli pozorované na pozícií elektródy s označením  $CP_5$ , ktorá sa nachádza diagonálne na rozmedzí centrálnej a parietálnej oblasti na ľavej strane mozgu. Aritmetický priemer celkovej úspešnosti rozpoznávania pozitívnej, negatívnej a neutrálnej emócie bol približne 43,8% pre všetky vykonané experimenty.

Je vhodné tiež poznamenať, že v rámci experimentov neboli analyzované a vyhodnotené záznamy EEG signálov zo všetkých nasnímaných elektród nachádzajúcich sa v databáze SEED. Do výberu boli zahrnuté len tie, ktoré v podobnom výskume [9] dosahovali najlepšie výsledky. Autori v tomto výskume deklarujú úspešnosť rozpoznania základných emócií na úrovni 86,1% pri použití koeficientov diferencnej entropie. V porovnaní s nami však využili pri klasifikácii troch základných

Tabuľka 3: Úspešnosť rozpoznania základných emócií.

pozícia elektródy	počet neurónov na skrytej vrstve	úspešnosť rozpoznania základných emócií			celkovo
		negatívna	neutrálna	pozitívna	
$FT_8$	10	14,7%	22,1%	24,2%	61,1%
$CP_5$	3	12,6%	17,9%	28,4%	58,9%
$CP_5$	30	8,4%	21,1%	29,5%	58,9%
$FC_5 + CP_5$	100	15,8%	20,0%	23,2%	58,9%
$F_6$	30	14,7%	27,4%	15,8%	57,9%
$FT_7$	100	10,5%	18,9%	27,4%	56,8%
$PO_5$	10	16,8%	20,0%	18,9%	55,8%
$CP_5$	10	12,6%	17,9%	25,3%	55,8%
$FT_7$	140	21,1%	7,4%	27,4%	55,8%
$FC_3$	100	13,7%	13,7%	28,4%	55,8%

typov emócií neurónové siete s dvoma skrytými vrstvami typu *deep belief networks* (DBN) a manuálne odstraňovanie artefaktov EOG a EMG v procese predspracovania EEG signálov.

## VI. ZÁVER

V tomto článku boli zhrnuté základné poznatky o rozpoznávaní základných emócií (pozitívnej, negatívnej a neutrálnej) pomocou EEG signálov a o vybraných metódach predspracovania EEG signálov, extrakcie základných príznakov a klasifikácie emócií pomocou neurónových sietí.

V experimentálnej časti bola na rozpoznanie emócií použitá neurónová sieť s jednou skrytou vrstvou. Vstupné dáta obsahovali záznamy EEG signálov z databázy SEED určenej na výskum v oblasti rozpoznávania základných emócií človeka, t.j. pozitívnej, negatívnej a neutrálnej emócie, pri pozeraní krátkych filmových ukážok. Úvodná časť výskumu bola zameraná na výber pozície jednej alebo viacerých elektród, extrakciu príslušných frekvenčných pásiem, z ktorých bol odstránený šum a na vypočet koeficientov diferencnej entropie (DE). Po extrakcii základných príznakov sme v závislosti od počtu neurónov na skrytej vrstve vytvorili 6 typov neurónových sietí. Najlepšie výsledky sme dosiahli na pozícii elektródy s označením  $FT_8$ , kde celková úspešnosť rozpoznania základných emócií dosahovala hodnotu 61,1%.

Predmetom ďalšieho výskumu bude rozšírenie výsledkov hodnotenia o ďalšie pozície elektród, ako aj s viacerými elektródami súčasne, a použitie ďalších metód na klasifikáciu emócií, ako je algoritmus  $k$ -najbližších susedov, metóda podporných vektorov, resp. neurónové siete s viacerými skrytými vrstvami typu *deep belief networks* (DBN) [14].

## POĎAKOVANIE

Táto práca vznikla vďaka podpore Kultúrnej a edukačnej grantovej agentúry realizáciou projektu KEGA 055-TUKE-4/2016, vďaka podpore Vedeckej grantovej agentúry realizáciou projektu VEGA 1/0075/15, a vďaka podpore Agentúry na podporu výskumu a vývoja realizáciou projektu APVV-14-0894, financovaných z prostriedkov Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR.

## LITERATÚRA

- [1] M. E. Ayadi, M. S. Kamel, and F. Karray, "Survey on speech emotion recognition: Features, classification schemes, and databases," *Pattern Recognition*, vol. 44(3), pp. 572–587, 2011.
- [2] L. Macková, "Emotion recognition from speech signal," in *Proc. of SCYR 2016*, Košice, Slovakia, 2016, pp. 116–117.
- [3] C. R. Chopade, "Text based emotion recognition: A survey," *International Journal of Science and Research*, vol. 4(6), pp. 409–414, 2015.
- [4] J. Kumari, R. Rajesh, and K. Pooja, "Facial expression recognition: A survey," *Procedia Computer Science*, vol. 58, pp. 486–491, 2015.
- [5] G. Castellano, S. D. Villalba, and A. Camurri, "Recognising human emotions from body movement and gesture dynamics," in *ACII 2007: Affective Computing and Intelligent Interaction*, A. Paiva, R. Prada, and R. Picard, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2007, vol. LNCS 4738, pp. 71–82.
- [6] P. Abhang, B. Gawali, and S. Mehrotra, *Introduction to EEG- and speech-based emotion recognition*, 1st ed. London, UK: Elsevier, Inc., 2016.
- [7] S. Saney, *Adaptive processing of brain signals*, 1st ed. West Sussex, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2013.
- [8] G. Ahern and G. Schwartz, "Differential lateralization for positive and negative emotion in the human brain: EEG spectral analysis," *Neuropsychologia*, vol. 23(6), pp. 745–755, 1985.
- [9] W.-L. Zheng and B.-L. Lu, "Investigating critical frequency bands and channels for EEG-based emotion recognition with deep neural networks," *IEEE Transactions on Autonomous Mental Development*, vol. 7(3), pp. 162–175, 2015.
- [10] A. Savran, K. Ciftci, G. Chanel, J. Mota, L. Viet, B. Sankur, L. Akarun, A. Caplier, and M. Rombaut, "Emotion detection in the loop from brain signals and facial images," *eNTERFACE'06*, Dubrovnik, Croatia, Tech. Rep., 2006.
- [11] S. Koelstra, C. Mühl, M. Soleymani, J.-S. Lee, A. Yazdani, T. Ebrahimi, T. Pun, A. Nijholt, and I. Patras, "DEAP: A database for emotion analysis using physiological signals," *IEEE Transaction on Affective Computing*, vol. 3(1), pp. 18–31, 2011.
- [12] V. Jurcak, D. Tsuzuki, and I. Dan, "10/20, 10/10, and 10/5 systems revisited: Their validity as relative head-surface-based positioning systems," *NeuroImage*, vol. 34, pp. 1600–1611, 2006.
- [13] L.-C. Shi, Y.-Y. Jioa, and B.-L. Lu, "Differential entropy feature for EEG-based vigilance estimation," in *Proc. of the 35th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, Osaka, Japan, 2013, pp. 6627–6630.
- [14] W.-L. Zheng, J.-Y. Zhu, Y. Peng, and B.-L. Lu, "EEG-based emotion classification using deep belief networks," in *Proc. of 2014 IEEE International Conference on Multimedia & Expo*, Chengdu, China, 2014, pp. 1–6.

# Evaluačná metóda určená na evaluáciu sociálnych väzieb v modeloch pohybu pre MANET siete

<sup>1</sup>*Dávid HRABČÁK, Martin MATIS, Ľubomír DOBOŠ, Ján PAPAJ*

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach.

<sup>1</sup>david.hrabcak@tuke.sk

**Abstrakt** – V tomto dokumente bude predstavená a popísaná evaluačná metóda určená na evaluáciu sociálnych väzieb v modeloch pohybu pre MANET siete. Vo všeobecnosti mobilná Ad Hoc sieť (Mobile Ad Hoc NETwork - MANET) funguje ako skupina bezdrôtových mobilných zariadení, ktoré komunikujú bezdrôtovo bez použitia pevnej infraštruktúry. V reálnom svete sú nositeľmi týchto mobilných zariadení ľudia. Preto je potrebné a užitočné, aby simulačné nástroje, ako napríklad modely mobility používané na overenie funkčnosti a správnosti sieťových protokolov využívali vzory mobility a správania sa ľudí. Ľudia sú spoločenské bytosti, takže žijú a pohybujú sa v sociálnych skupinách. Preto bola prispôbená Louvain metóda pre detekciu komunit a priradenie uzlov do sociálnych skupín, vyplivajúcich z pohybu uzlov v modeloch mobility. Na základe simulácií modelov mobility predstavenou evaluačnou metódou je možné určiť, či používaný model mobility vykazuje známky sociálnych väzieb medzi uzlami.

**Kľúčové slová** – Evaluačná metóda, sociálne väzby, model mobility, MANET

## I. ÚVOD

V súčasnosti sa vedci stále pokúšajú vytvárať nové smerovacie protokoly pre MANET siete. Snažia sa vytvoriť efektívne a dobre fungujúce smerovacie protokoly v zmysle parametrov ako je oneskorenie správ, úspešnosti doručenia správ a iných, ktoré vyjadrujú správnosť ich návrhu. Na získanie tohto druhu informácií však potrebujú správne simulačné nástroje. Jedným z príkladov takýchto nástrojov je model mobility. Mnohí výskumníci dnes používajú modely mobility s náhodným pohybom uzlov, ako je Random Way Point či Random Walk [1]. Tento pohyb však nezachytáva skutočný pohyb ľudí. Z týchto dôvodov boli vytvorené sociálne modely mobility. Vytváranie sociálnych modelov mobility je v skutočnosti aplikáciou teórie sociálnych sietí pri modelovaní pohybu v modeloch mobility [2]. Takéto modely sa stali populárnymi simulačnými nástrojmi v MANET sieťach a mnoho výskumov spolieha na sociálne správanie sa uzlov v modeloch mobility. Z týchto dôvodov je potrebné a užitočné, aby existovala evaluačná metóda, ktorá je schopná vyhodnotiť silu sociálnych väzieb v modeloch mobility. Preto bola navrhnutá evaluačná metóda určená na evaluáciu sociálnych väzieb v modeloch pohybu pre MANET siete. Pri simuláciách s použitím sociálnych modelov mobility je dôležité vedieť, aké silné vzťahy sú medzi uzlami, ako správanie uzlov ovplyvňuje funkčnosť mobilnej siete a ako iné často používané evaluačné metódy a výsledky smerovacích protokolov medzi sebou navzájom súvisia. Bez týchto informácií môžu byť výsledné parametre, ako je napríklad úspešnosť doručenia správ prostredníctvom mobilnej siete skreslené.

Článok je usporiadaný nasledovne. V kapitole II sú stručne opísané existujúce metódy evaluácie modelov mobility. V kapitole III bude predstavená a popísaná evaluačná metóda určená na evaluáciu sociálnych väzieb v modeloch pohybu pre MANET siete a v kapitole IV budú prezentované a popísané simulácie navrhovanej evaluačnej metódy a jej hlavné výsledky. Článok bude na záver ukončený v kapitole V.

## II. EXISTUJÚCE EVALUAČNÉ METÓDY

Autori modelov mobility dnes využívajú mnohé evaluačné metódy. V [3] boli rozdelené evaluačné metódy do dvoch skupín:

- metódy závislé od smerovacieho protokolu
- metódy nezávislé smerovacieho od protokolu

#### A. Metódy závislé od smerovacieho protokolu

Metódy závislé od smerovacieho protokolu sú zvyčajne predmetom hodnotenia výkonnosti siete. Niektoré z nich vyhodnocujú pomer dátových paketov, celkový počet riadiacich paketov, alebo smerovacích paketov generovaných smerovacím protokolom počas simulácie, oneskorenie správ a tak ďalej. Tieto metódy závisia priamo od použitého smerovacieho protokolu. Príkladom takýchto metrík je priemerná priepustnosť siete, priemerné end-to-end oneskorenie (E2E) atď.

#### B. Metódy nezávislé od smerovacieho protokolu

Metódy nezávislé od smerovacieho protokolu ako naznačuje názov, sú nezávislé od protokolov, ktoré sú implementované v sieti. Tieto typy informácií je možné extrahovať priamo z výsledného pohybu uzlov po ukončení simulácie. Autori v [3] uviedli niekoľko metód, ako je stupeň priestorovej závislosti, relatívna rýchlosť uzla, počet zmien spojení medzi uzlami, počet susedov atď. Pri evaluáciách niektorých sociálnych modelov mobility sú tiež používajú iné prístupy, ako sú napríklad štatistické metódy. Príkladom takýchto metód je kumulatívna distribučná funkcia (CDF), alebo distribučná funkcia pravdepodobnosti (PDF). Tieto štatistické metódy sú použiteľné pre rôzne typov údajov, napríklad čas medzi kontaktami uzlov, dĺžka kontaktov alebo počet susedov.

Tieto metódy, ako napríklad CDF alebo PDF, môžu byť použité na zobrazenie niektorých sociálnych aspektov v modeloch mobility, ale výsledky týchto metód musia byť interpretované správne. Avšak, stále priamo nepoukazujú a nepopisujú sociálne väzby a správanie sa uzlov v sieti, alebo v modeloch mobility. Z týchto dôvodov prezentujeme v kapitole III našu evaluačnú metódu, ktorá sa viac zameriava na sociálny aspekt modelov mobility.

### III. EVALUAČNÁ METÓDA URČENÁ NA EVALUÁCIU SOCIÁLNYCH VÄZIEB V MODELOCH POHYBU PRE MANET SIETE

V tejto kapitole bude predstavená evaluačná metóda, ktorá odhaľuje, či pohyb uzlov modelu mobility vykazuje známky sociálneho správania. Autori z [4] konštatujú, že úroveň zhľukovania sa uzlov v modeloch so sociálnym správaním je zvyčajne oveľa väčšia, ako u modelov s náhodným správaním sa uzlov. Autori naznačujú, že táto skutočnosť súvisí s tým, že ľudia sa zvyčajne zoskupujú do sociálnych skupín a spoločností. Preto je hlavnou myšlienkou evaluačnej metódy zistiť, koľko sociálnych skupín je možné získať z pohybu uzlov v modely mobility a ako sú silné väzby medzi skupinami a medzi uzlami v týchto skupinách.

Na získanie takýchto informácií je potrebné vypočítať kontakty medzi uzlami počas celej simulácie doby. Pomocou rôznych rádiových dosahov je možné definovať, či sú uzly vo vzájomnom dosahu a teda či sú, alebo nie sú v kontakte. Takéto informácie sa potom ukladajú do matice stretnutí. Táto matica je symetrická a vyjadruje, koľkokrát sa každý uzol stretol s ostatnými uzlami [5]. Potom je možné použiť metódu Louvain na detekciu komunit či priemerný vážený stupeň vrchola.

#### A. Louvain metóda pre detekciu komunit

Z matice stretnutí je možné vytvoriť vážený graf. Tento vážený graf bude následne použitý ako sociálna sieť, kde uzly predstavujú vrcholy týchto grafov a hrany zas predstavujú kontakty medzi uzlami. Hrany medzi uzlami budú existovať iba vtedy, a len vtedy, ak bola daná dvojica uzlov vo vzájomnom dosahu aspoň raz za celú simuláciu. Tento vážený graf je potom možné použiť ako vstup Louvain metódy na detekciu komunit [6]. Rozhodnutie o tom, do ktorej komunity, resp. sociálnej skupiny daný uzol patrí sa robí na základe parametra nazývaného modulárna kvalita. Táto kvalita je skalárna hodnota medzi -1 a 1. Meria hustotu hrán v rámci komunit v pomere k hustote hrán medzi komunitami. Dá sa povedať, že modulárna kvalita predstavuje to, ako „dobré“ sú uzly rozdelené do jednotlivých komunit. Modularita môže byť buď pozitívna, alebo negatívna. Pozitívne hodnoty naznačujú existenciu určitej komunitnej, resp. skupinovej štruktúry. Na hľadanie najlepších rozdelení uzlov do sociálnych skupín je dobré mať pozitívne a vysoké hodnoty modularity [6]. Spomenutá metóda Louvain pre detekciu komunit priamo neodráža sociálne správanie sa uzlov v modeloch mobility. Metóda bola v minulosti použitá napríklad v sociálnej sieti Twitter, aby preskúmala problém rozdelenia online sociálnych sietí na rôzne zariadenia. Táto metóda teda pracuje so statickými sieťami. Preto bolo potrebné prispôbiť vstup do metódy Louvain z výsledného pohybu modelov mobility tak, aby bola schopná spracovať výsledky z mobilných sietí, nie len statických. Parametre, ako napríklad modulárna kvalita a počet sociálnych skupín vyjadrujú, aké silné sú sociálne väzby medzi uzlami v týchto sociálnych skupinách a tiež to, ako sú uzly prepojené medzi týmito skupinami. V sociálnych modeloch mobility sa očakáva, že počet sociálnych skupín by mal narastať s narastajúcim počtom uzlov v sieti, zatiaľ čo v náhodných modeloch by mal počet sociálnych skupín zostať rovnaký, alebo by

rástol len nepatrne. Rastúci počet sociálnych skupín je spôsobený správaním sa uzlov v sociálnych modeloch mobility. S narastajúcim počtom uzlov v sociálnom modeli mobility sa vytvárajú nové priateľstvá a kontakty, takže sa vytvoria aj nové skupiny a komunity. V sociálnych modeloch mobility sa očakáva, že modulárna kvalita by mala byť vyššia ako v prípade modelov s náhodným pohybom uzlov. Je to spôsobené silnejšími vzájomnými vzťahmi medzi uzlami v sociálnych skupinách, ktoré su silnejšie ako vzťahy s inými uzlami, ktoré su mimo týchto sociálnych skupín. V teórii grafov su váhy hrán vo vnútri sociálnych skupín vyššie ako mimo týchto komunit. V náhodných modeloch, alebo ideálnych náhodných modeloch sa očakáva, že tieto váhy hrán by mali byť štatisticky rovnaké vo vnútri, alebo mimo spoločenstiev.

#### *B. Priemerný vážený stupeň vrchola*

Ďalším parametrom, ktorý by mohol byť použitý pre vyjadrenie sociálneho aspektu je priemerný vážený stupeň vrchola [7]. Priemerný vážený stupeň vrchola je podobný klasickému stupňu vrchola. Je založený na počte hrán incidujúcich s daným vrcholom, ale doplnený o hodnotu váh každej incidujúcej hrany. Vo všeobecnosti ide o sumu váh hrán. V našej situácii, kde musíme pozorovať všetky kontakty medzi uzlami z matice stretnutí, čo je v podstate vážený graf, je priemerný vážený stupeň vrchola lepším parametrom ako klasický stupeň uzla. Pri použití matice stretnutí potom klasický stupeň vrchola vyjadruje, koľko uzlov bolo pri simulácii v kontakte s daným uzlom, zatiaľ čo priemerný stupeň vrchola vyjadruje nielen to, koľko uzlov bolo v kontakte daného uzla, ale aj to, ako často. Od priemerného váženého stupňa vrchola možno očakávať, že vyššie hodnoty by mali predstavovať častejšie kontakty medzi uzlami. Pri modeloch s náhodným pohybom uzlov sú kontakty medzi uzlami rozdielne rozdistribuované takmer rovnako, čo znamená, že hodnota priemerného váženého stupňa vrchola zostáva takmer rovnaká kvôli malej štandardnej odchýlke. Naopak v sociálnych modeloch mobility sú niektoré kontakty medzi uzlami častejšie, čo znamená, že sa očakáva, že hodnota priemerného váženého stupňa vrchola mala byť vyššia v dôsledku vyššej štandardnej odchýlky.

### IV. SIMULÁCIE A VÝSLEDKY

Navrhovaná evaluačná metóda a ďalšie existujúce metódy hodnotenia boli simulované a overené v softvéri Matlab. Pre tieto simulácie bol použitý jeden sociálny model mobility SSBMM [8] a dva modely s náhodným pohybom uzlov Matis [9] a Random Walk [1]. V tejto časti sú uvedené niektoré hlavné výsledky, ktoré sú podrobne opísané v [5].

Prvá sada simulácií je orientovaná na navrhovanú evaluačnú metódu. Výsledky sú zamerané na počet sociálnych skupín, modulárnu kvalitu a priemerný vážený stupeň vrchola.

Druhá sada simulácií je orientovaná na niektoré metódy nezávislé na smerovacom protokole pre evaluáciu modelov mobility. PDF metóda bola vybraná ako zástupca štatistických metód pre evaluáciu početnosti kontaktov medzi uzlami.

Tretia sada simulácií je orientovaná na niektoré metódy závislé od smerovacieho protokolu. Priemerný čas doručenia správy a priemerný počet použitých uzlov v procese doručenia správy sa použili ako metódy tohto typu evaluácie. Tieto výsledky boli simulované pomocou sociálneho smerovacieho protokolu Social Based Opportunistic Routing-social aspect (SBOR-sa) [5].

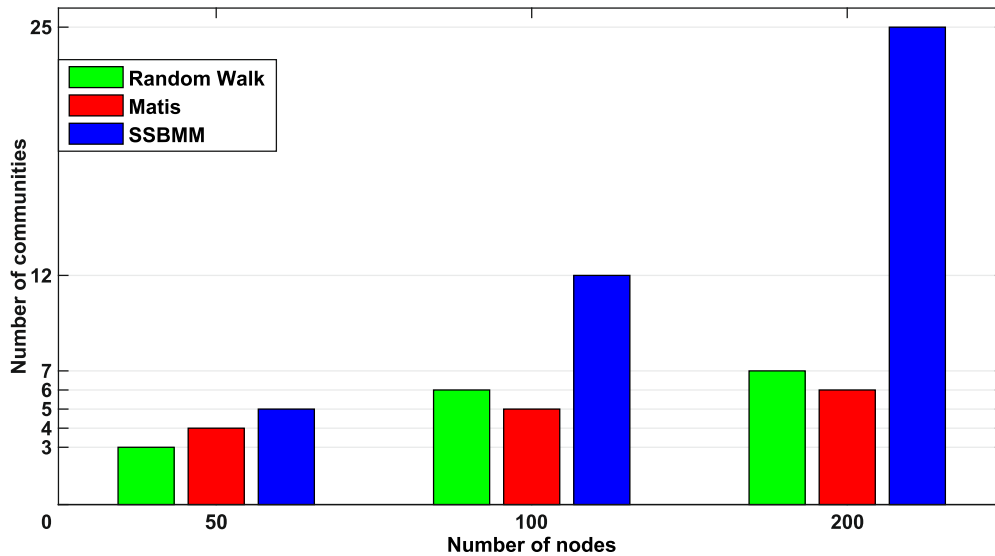
Všetky výsledky simulácií boli testované na simulačnej ploche 1500 x 1500 metrov s rôznymi rádiovými dosahmi (20, 50, 100 a 300 metrov). Trvanie simulácie bolo nastavené na 28 dní, ktoré boli rozdelené na 48 časových úsekov denne. Parametre boli nastavené na základe nastavení v modeli SSBMM tak, aby sa odhalili pohybové vzory a správanie sa ľudí v porovnaní s náhodným pohybom uzlov.

#### *A. Počet sociálnych skupín, modulárna kvalita a priemerný vážený stupeň vrchola*

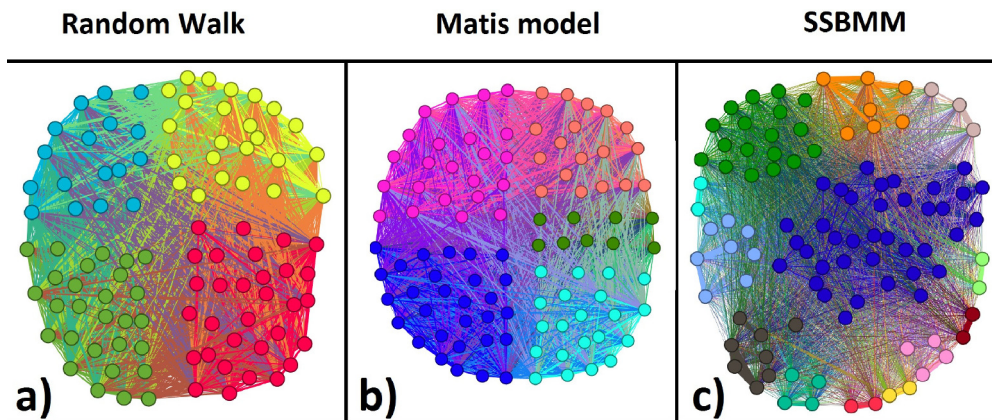
1) *Počet sociálnych skupín:* Pri rádiovom dosahu 20 metrov (Obr. 1) je možné vidieť, že SSBMM má viac sociálnych skupín ako náhodne modely mobility s použitím 100 a 200 uzlov. Pri simulácii s 50 uzlami má SSBMM o jednu skupinu viac ako model Matis a o dva viac ako Random Walk. Zatiaľ čo SSBMM má viditeľný rastúci počet sociálnych skupín, ktorý rastie s počtom použitých uzlov v simulácii, v náhodných modeloch počet sociálnych skupín rastie len mierne. Všetky ostatné simulácie s rôznymi rádiovými dosahmi mali podobný scenár.

Na Obr. 2 je možné vidieť grafické rozdelenie uzlov do sociálnych skupín v rádiovom dosahu 50 metrov. SSBMM má hrubšie hrany vo vnútri skupín než medzi skupinami. To znamená, že medzi uzlami sú silnejšie sociálne vzťahy. V náhodných modeloch je hrúbka hrán vo vnútri a medzi skupinami porovnateľná, čo značí slabé sociálne vzťahy medzi uzlami.





Obr. 1 Počet sociálnych skupín v radiovom dosahu 20 metrov



Obr. 2 Grafické rozdelenie uzlov do sociálnych skupín v rádiom dosahu 50 metrov

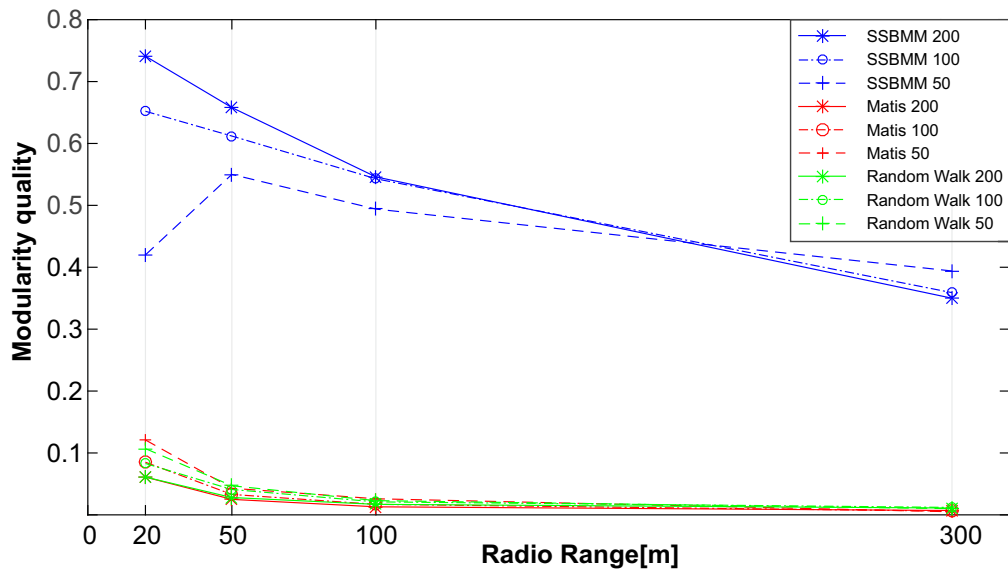
2) *Modulárna kvalita*: Na Obr. 3 sú znázornené výsledky modulárnej kvality. Je možné vidieť, že hodnota modulárnej kvality SSBMM bola vždy väčšia ako v prípade náhodných modelov. Dokonca aj v rádiom dosahu 300 metrov, kde počet sociálnych skupín bol nižší v prípade SSBMM a mobilná sieť bola veľmi hustá. Pozitívne hodnoty naznačujú, že pre všetky modely existuje určitá komunitná, resp. skupinová štruktúra. Autori v [10] deklarovali, že nenulové hodnoty predstavujú odchýlky od náhodnosti a v praxi sa zistilo, že hodnota nad približne 0,3 je dobrým ukazovateľom výraznej komunitnej štruktúry v sieti. V našom simulačnom scenári bola modulárna kvalita SSBMM stále lepšia a vyššia ako 0,3, čo dokazuje odchýlku SSBMM od náhodnosti.

3) *Priemerný vážený stupeň vrchola*: Na Obr. 4 sú znázornené výsledky priemerného váženého stupňa vrchola pre 200 uzlov. SSBMM prekonáva náhodné modely vo všetkých rádiových rozsahoch. Frekvencia kontaktov medzi niektorými uzlami v SSBMM bola vyššia ako u náhodných modelov, čo spôsobilo, že hodnoty priemerného váženého stupňa vrchola boli vyššie. Preto je možné povedať, že sociálne väzby medzi uzlami spôsobujú častejšie kontakty medzi uzlami a toto správanie ovplyvňuje aj hodnoty priemerného váženého stupňa vrchola. Rovnaké správanie bolo možné pozorovať aj pri použití 50 a 100 uzlov.

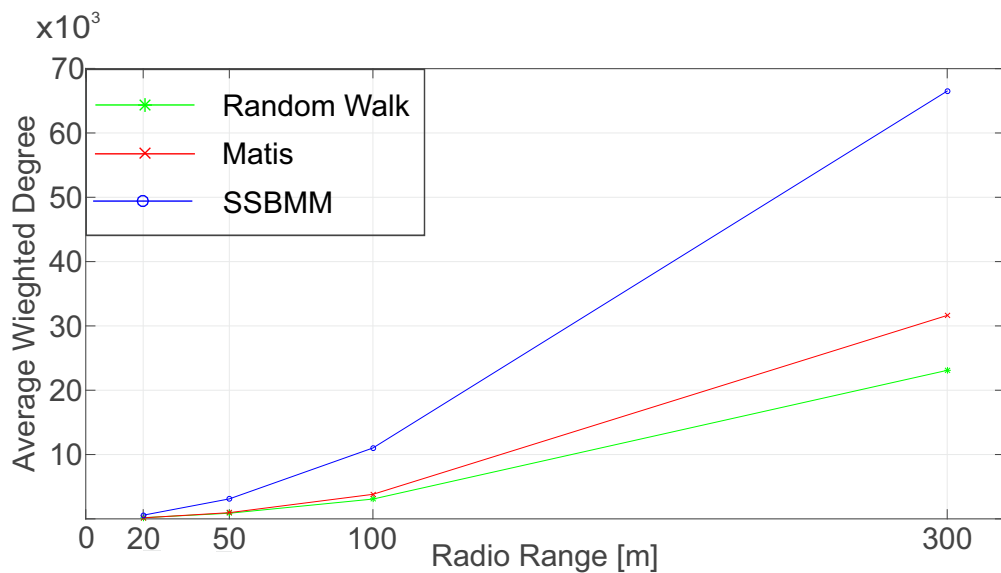
#### B. Metódy nezávislé od smerovacieho protokolu

Distribučná funkcia pravdepodobnosti (PDF) kontaktov bola použitá pre druhú sadu simulácií. Na toto hodnotenie sa použili hodnoty kontaktov z matice stretnutí. Pri tvorbe výsledkov PDF boli simulácie každého modelu mobility spustené viacnásobne s cieľom získať početnosť stretnutí každého uzla vo všetkých rádiových dosahoch s výnimkou dosahu 300 metrov.

Obr. 5 opisuje hustotu pravdepodobnosti kontaktov medzi uzlami v simulácii modelu SSBMM, modelu Matis a modelu Random Walk. Na tomto obrázku je aj tabuľka s priemernými hodnotami

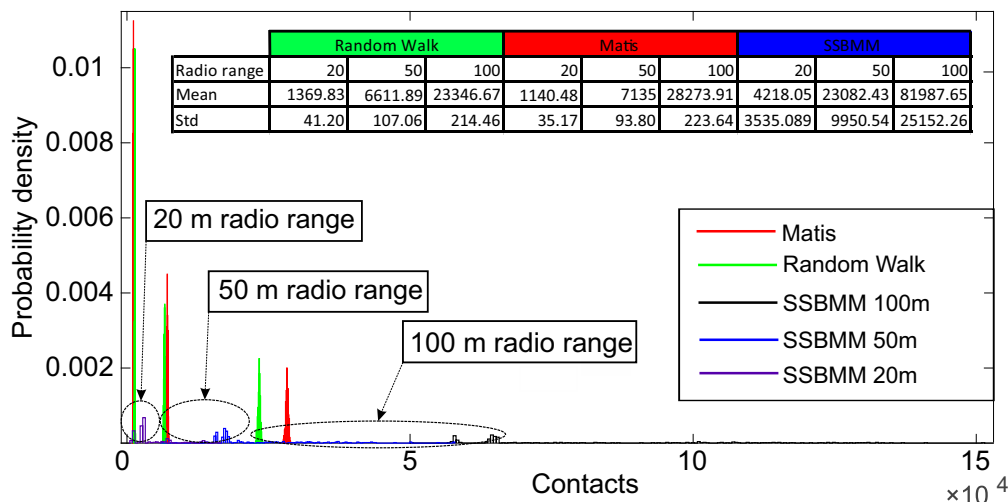


Obr. 3 Výsledky modulárnej kvality



Obr. 4 Výsledky priemerného váženého stupňa vrchola

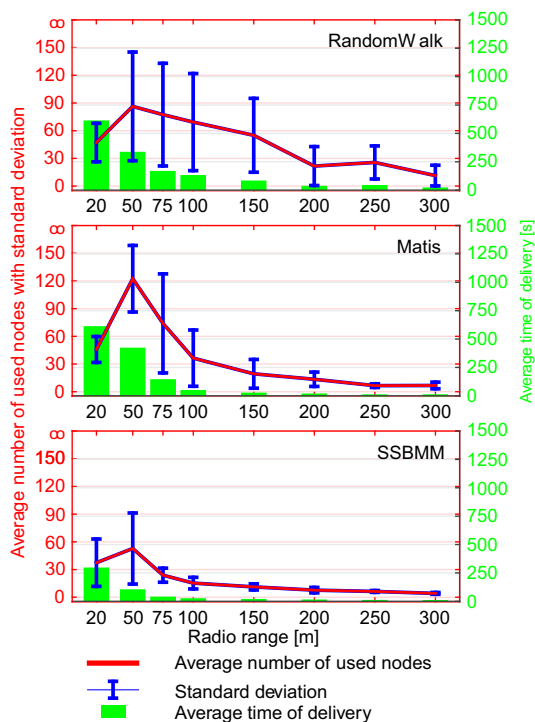
(Mean) a štandardnými odchýlkami (Std). Vo všetkých rádiových dosahoch je priemerná hodnota SSBMM takmer štvornásobne vyššia ako priemerné hodnoty náhodných modelov. Znamená to, že model SSBMM má viac kontaktov a dlhšie trvanie kontaktov medzi uzlami počas celého trvania simulácie ako náhodné modely. SSBMM má zároveň oveľa vyššiu hodnotu Std ako náhodné modely. To znamená, že SSBMM má väčší rozptyl kontaktov medzi uzlami. Vo všeobecnosti možno očakávať, že model SSBMM bude mať viac kontaktov v dôsledku dlhšieho trvania kontaktov medzi uzlami so silnejšími vzťahmi.



Obr. 5 Distribučná funkcia pravdepodobnosti (PDF) kontaktov

### C. Metódy závislé od smerovacieho protokolu

Metódy závislé od smerovacieho protokolu ako výsledky evaluácie smerovania ukazujú kombinovaný graf pre priemerný čas doručenia správy a priemerný počet použitých uzlov v procese doručenia správy so štandardnou odchýlkou (Std) pre priemerný počet použitých uzlov (Obr. 6). Zobrazené výsledky sú vyhodnotené len pre úspešné pokusy, pre všetky tri modely mobility a smerovací protokol SBOR-sa. Smerovací protokol SBOR mal klesajúcu tendenciu pri použití modelu Random Walk cez model Matis až po SSBMM. Na základe evaluácií PDF a priemerného váženého stupňa vrchola je možné povedať, že model Random Walk získal nižšiu početnosť kontaktov ako model Matis. Hodnota Std priemerného počtu použitých uzlov je väčšia v prípade modelu Matis, pretože získal viac kontaktov počas simulácie a mal príležitosť stretnúť sa s viacerými a vždy rôznymi uzlami vďaka náhodnému spôsobu pohybu a použiť ich na prenos správ. Hodnoty Std SSBMM sú oveľa nižšie, pretože tento sociálny model mal takmer opakujúce sa vzory mobility počas všetkých simulácií. Z tohto dôvodu sa takmer rovnaké uzly použili na prenos správ vo všetkých simuláciách.



Obr. 6 Výsledky evaluácie smerovania

## V. ZÁVER

V tejto práci bola predstavená a popísaná nová evaluačná metóda určená na evaluáciu sociálnych väzieb v modeloch pohybu pre MANET siete. Táto metóda je založená na metóde Louvain a na parametri priemerného váženého stupňa vrchola. S vhodným výstupným formátom z modelu mobility je táto metóda schopná odhaliť sociálny aspekt modelov mobility z výsledného pohybu uzlov. Uvedená metóda bola simulovaná v porovnaní s iným bežne používaným evaluačnými metódami, ako sú metódy závislé od smerovacieho protokolu a metódy nezávislé od smerovacieho protokolu. Výsledky ukazujú, že predstavená a popísaná metóda hodnotenia skutočne odhaľuje sociálny aspekt modelov mobility.

## POĎAKOVANIE

Táto práca vznikla v spolupráci Ministerstva školstva Slovenskej republiky pod výskumom VEGA 1/0075/15 a podpory COST akcie CA15127 (“Resilient communication services protecting enduser applications from disaster-based failures – RECODIS”).

## LITERATÚRA

- [1] V. A. Davies *et al.*, “Evaluating mobility models within an ad hoc network,” Master’s thesis, Citeseer, 2000.
- [2] M. Musolesi and C. Mascolo, “Mobility models for systems evaluation,” in *Middleware for Network Eccentric and Mobile Applications*. Springer, 2009, pp. 43–62.
- [3] F. Bai, N. Sadagopan, and A. Helmy, “IMPORTANT: A framework to systematically analyze the Impact of Mobility on Performance of Routing protocols for Adhoc Networks,” in *INFOCOM 2003. Twenty-second annual joint conference of the IEEE computer and communications. IEEE societies*, vol. 2. IEEE, 2003, pp. 825–835.
- [4] M. E. Newman and J. Park, “Why social networks are different from other types of networks,” *Physical Review E*, vol. 68, no. 3, p. 036122, 2003.
- [5] D. Hrabčák, M. Matis, Doboš, and J. Papaj, “Tools for evaluation of social relations in mobility models,” telecommunication Systems, 2017.
- [6] V. D. Blondel, J.-L. Guillaume, R. Lambiotte, and E. Lefebvre, “Fast unfolding of communities in large networks,” *Journal of statistical mechanics: theory and experiment*, vol. 2008, no. 10, p. P10008, 2008.
- [7] M. E. Newman, “Scientific collaboration networks. II. Shortest paths, weighted networks, and centrality,” *Physical review E*, vol. 64, no. 1, p. 016132, 2001.
- [8] D. Hrabčák, “Modely pohybu založené na sociálnom správaní pre hybridné MANET – DTN siete,” Master’s thesis, Technická Univerzita v Košiciach, 2016.
- [9] M. Matis, J. Papaj *et al.*, “An Enhanced Hybrid Social Based Routing Algorithm for MANET-DTN,” *Mobile Information Systems*, vol. 2016, 2016.
- [10] A. Clauset, M. E. Newman, and C. Moore, “Finding community structure in very large networks,” *Physical review E*, vol. 70, no. 6, p. 066111, 2004.

# Generating of Web Applications on the Basis of ASP.NET MVC

<sup>1</sup>Maroš Zelený, <sup>2</sup>Zdeněk Havlice

<sup>1</sup>Department of Computers and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>2</sup>Department of Computers and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>maros.zeleny.@student.tuke.sk, <sup>2</sup>zdenek.havlice@tuke.sk

**Abstract** –This article is dealing with the generating of the web applications on the basis of ASP.NET MVC in the programming language C#. The area of code generation plays the important role in software development. It allows to generate code by program written by software developers. This type of programming increases the productivity of developer and saves his time, but on the other side it can decrease the code quality, violate the Don't Repeat Yourself (DRY) principle or even cause the lack of maintance. Software developers can avoid some of the mentioned drawbacks like the decreasing of code quality or the DRY principle but that depends on their programming skills. Code generation can be achieved in different ways in the C# language. For example using T4 text Templates or Code Document Object Model (CodeDOM). This paper presents the existing solutions related to this work, base techniques of code generation in the programming language C#, the description of the architecture and the process of code generation of the implemented template-based EntityGenerator and the WPF XML editor.

**Keywords** – ASP.NET, code generation, C#, MVC, run-time T4 template, template-based generator.

## I. INTRODUCTION

Nowadays, there are many programming techniques how to produce code. One of these is code generation. Code generation involves different programming techniques (metaprogramming, generative programming...), paradigms (object-oriented programming, procedural programming...), different types of code generators (compilers, transpilers, template-based generators..) and different ways of their implementation in a different programming languages. This paper focus on building of template-based code generator called EntityGenerator in the object-oriented programming language C#. The input of this generator are XML files that contain defined entities and the output is code produced by the predefined run-time T4 templates. This code generator is able to generate different ASP.NET MVC web applications (for example information systems). It is suitable only for developers now who can understand what is under the hood. In addition to the implemented EntityGenerator, it was also developed XML WPF editor that allows to launch EntityGenerator and edit or create new XML file.

The rest of this paper is organized as the following. The section II presents the existing solutions in the area of code generation. The next section III deals with the use of development tools for the implementation, followed by the description of code generation approaches in the programming language c# in the section IV. The next section V deals with the architecture of template-based code generator and its application on the designed solution. The section VII presents the process of code generation of the implemented EntityGenerator. The description of WPF XML editor is in the section VIII. The last section IX is dedicated to the evaluation and results of implemented EntityGenerator.

## II. REVIEW OF RELATED SOLUTIONS

This chapter analyses the existing paid and non-paid solutions (code generators) and the programming approaches of code generation in the programming language C#.

### A. Translators

Translators involve the large group of the different types of code generators. This section is describing them.

- 1) **Compilers** convert some representation of source code (written in high-level language for example C#) into the machine or binary code that can be executed by machine (processor). Compilers are designed to output an executable program that will allow user to run this program.[?]
- 2) **Interpretive Compilers** are combination of compiler and interpreters . The main idea is to translate source program into an intermediate language. **Example:** JDK is an implementation of an interpretive compiler for the programming language Java.[?]
- 3) **Assemblers** are translators that translate source instructions in symbolic language into the target instructions in machine language. [?]
- 4) **Decompilers** are a reverse process of compilation. It means creating high level language code from machine/assembly language code.[?]
- 5) **Transpilers** translate source code into the another source code's form that can be understood by another compiler. **Example:** C++ to C or Pascal to C. [?]

This types of code generators are often free available and part of some software packages or operational system. For example Visual Studio has built-in compiler for C# or Visual Basic programming language.

### B. Commercial software products

Some IT companies are developing software products focused on the code generation. This chapter describes three of them.

- 1) **ScriptCase** is a powerful RAD (Rapid Application Development) tool that generates PHP applications. The development process is directly done in a web browser. It allows an collaborative development and team integration. The code is generated very fast because PHP focus on the productivity.[?]
- 2) **MapForce** is a software product by the company Altova. One of his functionality is Data conversion code generator. It is graphical data mapping conversion and integration tool. MapForce includes a built-in code generator that can automatically generate Java, C++ or C#. [?]
- 3) **CodeSmith Generator** is a template-based code generator that can produce code for any text-based languages. It can generate code for the target language like C#, Java or VB.NET. CodeSmith is using similiar ASP.NET - based template syntax. [?]

## III. TOOLS USED FOR THE DEVELOPMENT OF ENTITYGENERATOR

The designed code generator was developed in the programming language c# in Visual Studio 2015. This IDE is the best option and highly recommended for the application development based on Microsoft platform. The generated ASP.NET MVC web application communicates with an database. As database provider was chosen postgresql. Visual Studio can't directly communicate with this type of database, therefore it is necessary to use .NET provider **npgsql**.

## IV. CODE GENERATION APPROACHES IN THE PROGRAMMING LANGUAGE C#

There are two main code generation approaches:

- 1) **T4 text Templates**
- 2) **CodeDOM** (described in [?])

This paper deals only with T4 text Templates, because it was used in the implementation.

### A. T4 text Templates

It means mixture of text blocks and control logic that can generate a text file. This control logic should be written in C# or in Visual Basic language. The generated file can be in text form of any kind such as a resource file, program source code in any language or web page. [?]

T4 text template is composed of these parts:

- **Directives** provide general instructions to the template engine about how to generate the transformation code and the output file.
- **Text blocks** is a text inserted by text blocks directly into the output file.
- **Control blocks** is the specific section of program code that generates part of the output file. Each control block is delimited by the symbols <#...#>. There is also specific control block called **expression control block** delimited by the symbol <#=...#>. [?]

T4 text Templates include two types of templates **run-time T4 template** and **design time T4 text template**. This paper deals only with the first one that was used in implementation.

1) *T4 run-time Template*: This template is executed in an application to produce text strings, typically as part of its output. The following snippet of code shows the implementation of model method in template.

```
<# } else if(entitymodel.Name=="SetCreatedByAndDate") { #>

public void <#= entitymodel.Name #>(<#= MyEntity.Name #>
    theEntity, <#= entitymodel.SecondParamType #> <#=
    entitymodel.SecondParamName#>){

    <# foreach(var setcreatedcol in
        entitymodel.SetCreatedColumns) { #>
        theEntity.<#= setcreatedcol.Name #> = <#=
            entitymodel.SecondParamName#>.<#= setcreatedcol.Value #>;
        theEntity.<#= setcreatedcol.Name #> = <#=
            setcreatedcol.Value #>;
    <# } #>
}
```

This template code is similar to the generated output. It contains fragments of a program code. To generate output, it is necessary to call following function in application.

```
string webResponseText = new MyTemplate().TransformText();
```

#### V. ARCHITECTURE OF TEMPLATE-BASED GENERATOR

The following table 1 describes individual parts of the general template-based generator and their replacement for the concrete parts of EntityGenerator.

		<b>The implemented EntityGenerator</b>
<b>Data Model</b>	contains data that have to be transformed	XML file
<b>Template</b>	formats the data model into output code	run-time T4 template
<b>Template Engine</b>	performs the transformation	XML parser
<b>Target</b>	result of transformation process	generated MVC (model-view-controller) files

Table 1  
 General description of the template-based generator and his application on EntityGenerator

The following picture 1 shows the general architecture of template-based generator.

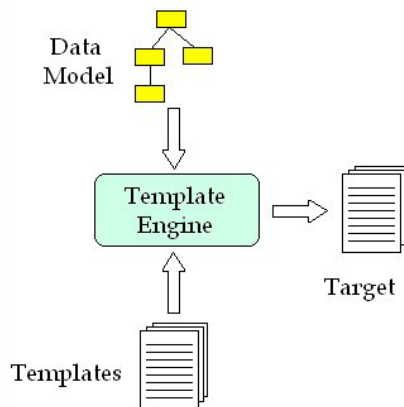


Fig. 1 Template-based generator

[?]

## VI. DESCRIPTION OF THE INPUT OF ENTITYGENERATOR

The implemented EntityGenerator generates two types of tables:

- 1) **Codelists** are standalone tables. It means that they do not contain any foreign key. This type of table is represented by the following tables: `t_countries`, `t_currencies`, `t_examination_states`, `t_health_insurances`, `t_logon_messages`, `t_system_configuration`.
- 2) **Complex tables** have different relation/relations (1:1, M:N, 1:N) with other table/tables or they refer to themselves. They contain different amount of foreign keys. This type of table is represented by the following tables: `t_diagnosis`, `t_messages`, `t_message_recipients_groups`, `t_roles`, `t_servers`, `t_server_institutions`, `t_zip_codes`. [?]

The following snippet of code shows the basic xml structure of the complex entity.

```
<!-- XML tag entity defines an new entity. The attribute name
contains name of an entity -->
<Entity entityName="name_of_entity" assembly="xpdir2.Models"
entityNamespace="xpdir2.Models.EntityModel"
hasActiveProperty="true">
<!-- Views tag defines view for entity -->
<Views>
</Views>
<!-- Controllers tag can contain two types of controller
(EntityController and EntityRefToEntityController)-->
<Controllers>
<EntityController>
<!-- methods tag includes all methods for EntityController -->
<methods>
</methods>
</EntityController>
<!-- ReferenceControllers tag contains
EntityRefToEntityController tags -->
<ReferenceControllers>
<!--XML tag EntityRefToEntityController contains references on
other entity -->
<EntityRefToEntityController>
<!-- methods tag contains all methods for
EntityRefToEntityController -->
<methods>
</methods>
</EntityRefToEntityController>
</ReferenceControllers>
</Controllers>
<!-- Model definition for an entity -->
<Model>
<!--Definition for a constructor -->
<EntityDbLayer>
</EntityDbLayer>
<!-- methods tag contains all methods defined in an model of
entity-->
<methods>
</methods>
</Model>
<!-- Dataholders definition of an entity -->
<DataHolders>
</DataHolders>
</Entity>
```

**For example:** the table `t_roles` has two EntityRefToEntity controllers (RolesController\_TabPermission and RolesController\_TabRecipients) but the table `t_diagnosis` does not have any EntityRefToEntity controllers. It depends on the purpose and implementation of an entity. The XML structure of codelist is much simplified therefore is not mentioned in this paper.

## VII. PROCEDURE OF CODE GENERATION

The following picture 2 shows the procedure of code generation in four steps.



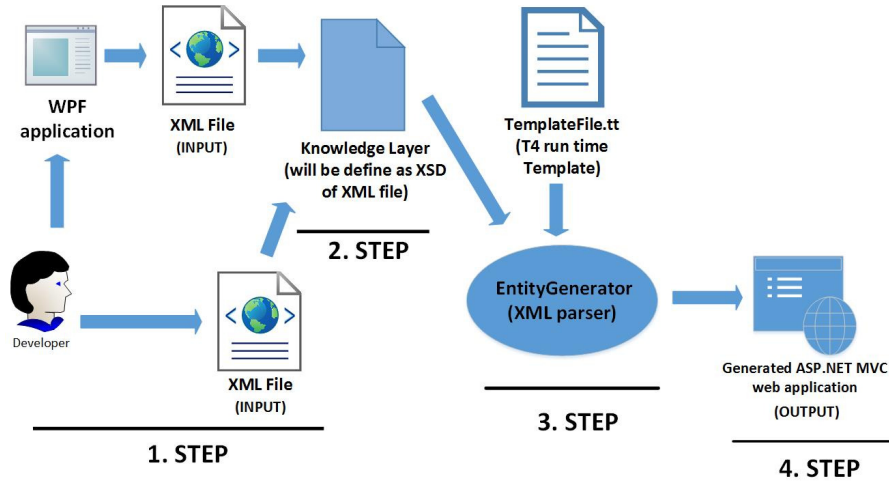


Fig. 2 Architecture of the implemented EntityGenerator

[?]

- 1) **1.STEP** Developer creates new entity or entities in a XML file. This entity can be directly created in the project in Visual Studio or in WPF XML editor. Codelists and complex tables have predefined XML syntax. Developer must comply the rules for writing an new entity.
- 2) **2.STEP** This step is optional. Created XML file with the defined entity can be validated by XSD (XML Schema Definition) schema in WPF XML editor. XSD schema can be created from a existing XML file.
- 3) **3.STEP** EntityGenerator takes XML file with entity and parses it. The result of the parsing is a big data container (C# list structure) that consists of set of C# properties and lists. This data container is processed by run-time T4 template that generates code (for example code for models, controllers and view).
- 4) **4.STEP** The result of the code generation is the executable prototype of ASP.NET MVC web application (See picture 3). [?]

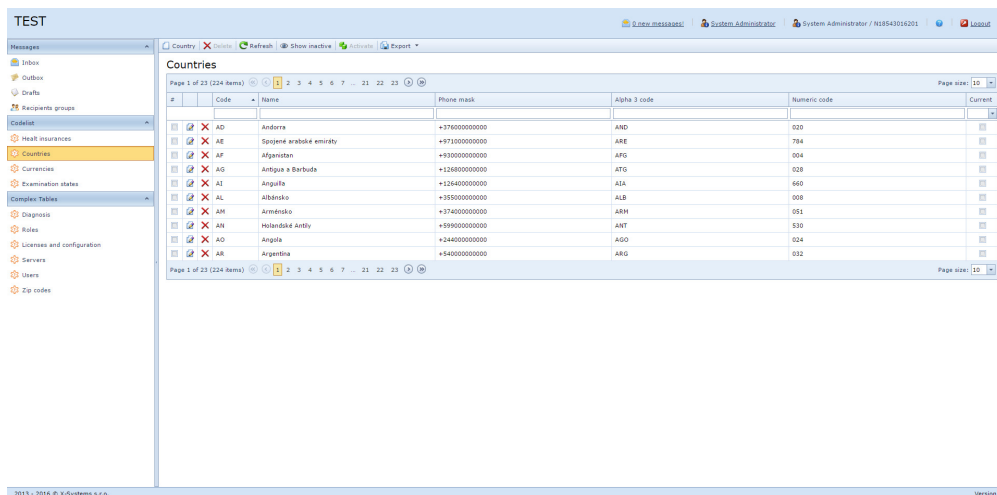


Fig. 3 The final generated ASP.NET MVC web application

[?]

### VIII. WPF XML EDITOR

XML Editor was created in windows presentation foundation (WPF). WPF provides developers to build desktop application on Windows platform.

Editor has following functionality :

- 1) Creating and editing XML file.
- 2) XML file validation against XSD schema.
- 3) Launching EntityGenerator

XML Editor serves as feature for EntityGenerator. Developer does not have to open Visual Studio for making the basic operations like creating, modifying XML file or launching application but instead of that he can use the editor. [?]

### IX. EVALUATION OF THE CODE GENERATION OF ENTITYGENERATOR

The first table 2 shows the result of codelists generation. Six codelists have together 102 files that are generated by the 17 templates. For every type of file is defined one template. For example: for models is define one template, for controllers is defined one template and etc.

Codelist tables	Files					File Together
	Controller	Model	Dataholder	GridViewSettingsHelper	View	
t_countries	1	1	1	1	13	17
t_currencies	1	1	1	1	13	17
t_examination_states	1	1	1	1	13	17
t_health_insurances	1	1	1	1	13	17
t_logon_messages	1	1	1	1	13	17
t_system_configuration	1	1	1	1	13	17
<b>Files Together</b>						<b>102</b>
<b>T4 run time Templates</b>	1	1	1	1	13	<b>17</b>

Table 2  
 Summarization of code generation for codelist tables

[?]

The second table 3 shows the result of generation of complex entities. Eight complex entities have together 184 files that are generated by the 34 templates. For every type of file is defined one template. For example: for models is defined one template, for controllers is defined one template and etc. If we compare it with the table 2, we can see variable numbers of specific files in the table 3. That is cause to different relationship with other entities and the complexity of these tables.

Complex Tables	Files					Files Together
	Controller	Model	Dataholder	GridViewSettingsHelper	View	
t_diagnosis	1	1	1	1	13	17
t_messages	2	1	1	0	0	4
t_message_recipients_groups	2	1	1	1	0	17
t_roles	2	1	1	4	30	38
t_users	2	1	1	3	26	33
t_servers	2	1	1	2	18	24
t_server_institutions	1	1	1	2	12	17
t_zip_codes	1	1	1	1	13	17
<b>Files Together</b>						<b>184</b>
<b>T4 run time Templates</b>	2	1	1	2	28	<b>34</b>

Table 3  
 Summarization of code generation for complex tables

[?]

Dataholder and GridViewSettingsHelper are specific generated files that are not directly located in MVC folders. They serve as helper classes for models, controllers and views. It is also important to realize that certain codes (for example: model methods, dataholders methods) are used in other files (for example:controllers), therefore it is also necessary to generate those codes.

### X. CONCLUSION

The aim of the paper was to describe the implemented template-based EntityGenerator that allows to generate MVC files into the ASP.NET MVC web application. The result of code generation is the executable prototype of web application.

The main benefits of EntityGenerator:

- 1) Increase productivity and save developer's time.
- 2) Generating ASP.NET MVC web application in few clicks.

- 3) Reduce potential developer's errors. (If developer is writing code manually, he can produce more errors).
- 4) The target generated language could be different.

In the future the existing EntityGenerator may be extended by WPF application that also allows users to generate the web applications by clicking in the WPF user interface without any previous knowledge of the XML syntax of entities.



#### ACKNOWLEDGMENT

This work is the result of the project implementation: IT4KT - Information technology for knowledge transfer (ITMS project code: 26220220123) supported by the Research & Development Operational Program funded by the ERDF.

#### REFERENCES

- [1] Techopedia. (2016) Compiler. [Online]. Available: <https://www.techopedia.com/definition/3912/compiler>
- [2] A. D. Watt and F. D. BROWN, Programming Language Processors in Java: Compilers and Interpreters. England: British Library Cataloguing-in-Publication Data., 2000. [Online]. Available: <https://books.google.sk/books?id=pRAF4n28wYC&printsec=frontcover&hl=sk#v=onepage&q&f=false>
- [3] D. SALOMON, Assemblers and Loaders. United Kingdom:Ellis Horwood Ltd, 1993. [Online]. Available: <http://www.davidsalomon.name/assem.advertis/asl.pdf>
- [4] S. KUMAR. (2016) Decompilation. [Online]. Available: <http://www.debugmode.com/dcompile>
- [5] S. BAJANIYA. (2003) Transpilers(source to source compilers, transcompilers). [Online]. Available: <http://www.slideshare.net/shivang4/transpilers>
- [6] ScriptCase. (2015) What is scriptcase? [Online]. Available: <http://www.scriptcase.net>
- [7] Altova. (2015) Mapforce-graphical data mapping, conversion, and integration tool. [Online]. Available: <http://www.altova.com/mapforce.html>
- [8] CodeSmith. (2015) What is codesmith generator? [Online]. Available: <http://www.codesmithtools.com/product/generator>
- [9] Microsoft. (2016) Code generation and t4 text templates. [Online]. Available: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb126445.aspx>
- [10] G. NACCARATO, "Template-based code generation with apache velocity, part 1," 2004.
- [11] M. Zeleny, "Generating of web applications on the basis of asp.net mvc," Master's thesis, 2016.

# Software Prototyping Using Executable Models

*Veronika PETRUŠKOVÁ, Zdeněk HAVLICE*

Department of Computers and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>veronika.petruskova@student.tuke.sk, <sup>2</sup>zdenek.havlice@tuke.sk

**Abstract** – The purpose of this article was to introduce an approach to serve as an instruction for successful and correct creating of software prototypes using executable models. CASE (Computer Aided Software Engineering) tool BridgePoint was chosen for the implementation, supplemented by xtUML (eXecutable Translatable Unified Modeling Language) for executable models design and OAL (Object Action Language) used for the implementation of models executability. The approach describes steps for prototype model design from defining of the prototype type to model verification and validation, in some cases supplemented by model translation to source code in a specific implementation language. For the design of executable models the approach uses UML diagrams, such as component diagrams, class diagrams and finite state machines.

**Keywords** — BridgePoint, executable model, MDA, OAL, software prototype, xtUML

## I. INTRODUCTION

Currently, the field of information technology has boosted the trend that highlights the maximization of the delivery rate of software products to minimize the costs of their development. This forces developers to reach solutions that streamline product development phases, or offer a different approach to their development. One of them is Model-driven development. The main element here is a model from which end-to-end software is created by automated generation. This approach provides many advantages over other approaches, such as timely software testing without the need for implementation, better system sustainability and acceleration of the implementation phase by generating source code. It involves a reduction in costs and time spent developing, which ultimately leads to a faster delivery of the resulting product. Model-driven development has once been used almost exclusively in highly specialized domains. Today, its applicability is rising mainly due to advances in automation technologies and the introduction of standards, but also through a better understanding of how the software is modeled.

This approach is in practice used in domains oriented to the development of embedded systems. However, there is not a clear and detailed procedure for creating system models. Thus, there is room for creating a methodology that offers a consistent and accurate way of designing software using executable models. This article offers a solution to the problem. Its aim is to introduce a prototype software development methodology using executable models to enable the prototype to be executed without the need for implementation. It offers a unified mechanism for modeling different software prototypes. This solution combines the benefits of prototyping with the benefits of a controlled development model, ensuring rapid design of prototypes, regardless of their use in the end system.

## II. GOALS AND MOTIVATION

The main goal of this article is to define an approach to serve as an instruction for successful and correct creating of executable models and generation of prototypes of modeled systems. First, it was necessary to analyze the field of software prototyping, which also provides a basic division of prototypes and software distribution, which has been considered when selecting appropriate examples of systems for later implementation. Then, the model-driven architecture (MDA) approach was described and the analysis of the xtUML language for creating executable UML models. Execution of UML models was provided by the Object Share Language (OAL) and the BridgePoint tool was used to create executable UML models. The next step was the proposal of

the prototype generation methodology, which uses executable UML models created in BridgePoint. The implementation of the proposed methodology was then demonstrated on three examples of different systems, with the aim to generate their software prototypes.

### III. ANALYSIS

Prototypes are an important tool in software development. They can reduce the cost and time requirements of the target system, prevent deficiencies and design errors, or make it easier to customize the software for changes in functionality. They offer a first look at the developed system for the designer, developer, customer and end-users [1]. Many types of prototypes and prototyping tools are available today for any type of system.

In software engineering, the concept of software prototype has evolved. The authors of the article [2] define such a prototype as a concrete representation of the part or the whole system. It is a tangible product, not an abstract description of the system, requiring additional interpretation. Authors David P. Wood and Kyo C. Kang [3] consider prototyping as an important approach to validating requirements. According to them, the prototype is a system model that allows its functions to be evaluated through user interaction and scenario developer interaction. Prototyping thus reveals the functional and behavioral aspects of the system, and can also assist in considering the appropriate implementation method. This enhances the accuracy of requirements, which helps to control their instability during the system development [3].

#### A. MDA Approach

Executable models and their generation form the basis of the Model Driven Architecture (MDA). This is an approach to creating and maintaining software systems where system specifications are recorded in the form of models. MDA has been defined by the Object Management Group (OMG) and is based on OOP and its main goal is to separate application logic from the platform. [4] This is aided by a Computation Independent Model (CIM) and a Platform-Independent Model (PIM), the translation of which is obtained by the Platform Specific Model (PSM).

The MDA approach uses several basic concepts for its implementation.

- Model - Is a formal representation of the structure, behavior and function of the created system. Since it is formal, the language for describing such a model must have a well-defined syntax and semantics. [5]
- Platform - In MDA, this term refers to technological details that are irrelevant to software functionality, but are key in the design of the system, because the platform is a specification of the technologies used in the system. The most well-known platforms are CORBA, C, NET, or J2EE. [5]
- CIM - Sometimes referred to as a domain or business model provides a computationally independent view of the system. It is primarily intended for business consultants and domain practitioners. Because the CIM user does not need to know the models and artifacts required for the construction of the system, there are no system structure details visible. It creates a bridge between domain experts and IT specialists. CIM specifies the function of the system, that is, everything that the system should do without giving details of its implementation. Requirements defined in the CIM model should be traceable to the corresponding constructs in the PIM and PSM models. [6][7]
- PIM - It captures all system requirements that are not committed to its implementation. The executable models are used for its creation. Each PIM describes a certain aspect of the system, in MDA also called a domain. By combining these domains, a generic executable description of the system is obtained. [5]
- PSM - It combines the functionality expressed through PIM and complements it with the design issues of the platform on which the system will be implemented. PSM takes the form of a design model in UML or language like CORBA or C++. PSM is derived from PIM by applying transformation rules, referred to as mapping. After each change of requirements, the PSM is re-generated from the modified PIM. If necessary, we can modify the mapping rules and re-generate the system to cope with changes to the platform or other non-functional requirements of the system. [5]

### B. MDA Process

In the MDA approach, the software development process begins by defining a CIM. A business analyst and a business user are working to create it. Subsequently, CIM is transformed into a PIM by the work of a corporate architect. He applies his knowledge of system architecture without the details of the platform used. To complete the process, it is needed to focus the PIM on the platform, which requires a detailed model of a platform. PIM transformation on PSM is in charge of a platform specialist. The resulting PSM may represent the implementation of the system if it contains all the information necessary for its construction and commissioning. [6] The process of creating such a system is illustrated in Fig. 1.

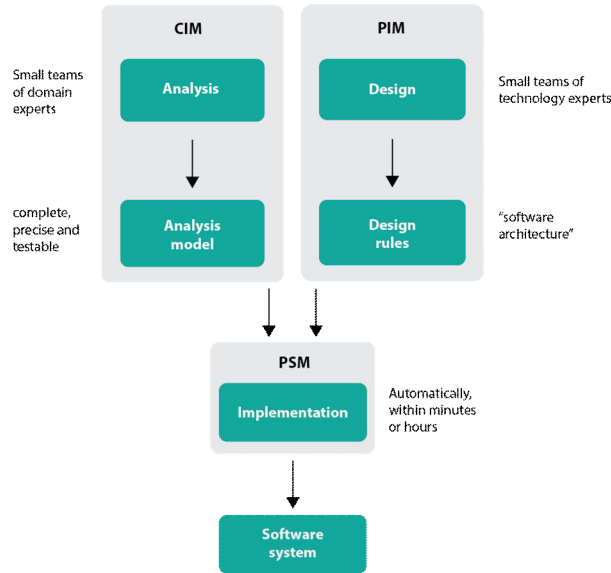


Fig. 1 The process of creating a system using MDA approach [5]

### C. xtUML Methodology

Executable UML, shortly xtUML is an extension of the Shlaer-Mellor MDA approach. It is an extension of the traditional UML, allowing UML models to be used to control their behavior and then translate them into an implementing language. [8] It accelerates the development of embedded systems, real-time systems and technical software. It is based on an object-oriented approach and is used for many different projects such as life-critical implanted medical devices, DOD air-critical systems, performance critical systems, fault-tolerant telecommunication systems, high source-limited consumer electronics, or discrete time simulation systems. [9]

XtUML uses three types of UML diagrams. Class diagrams provide richness of notations to capture abstractions of conceptual entities through classes, attributes and different types of associations. The formalization of the life cycle of these diagrams uses xtUML state machines. Activity semantics is defined in the operations of classes, states and transitions of machines and bodies of functions using an abstract language of actions that is platform independent. The models are composed of parts representing the components of the UML component diagrams [10]. As noted by the authors [11], "there is a clear hierarchical structure between the diagrams. State machines can only be found in classes, classes within components only. "XtUML models can be converted to model-specific models (PSM) using model compilers. The code generated in this way is in constant synchronization with the model, since all changes are done at the PIM level, not at the code level. [11]

XtUML benefits include reduced maintenance costs and longer product life, fully customizable translation resulting in complete optimized code, efficient re-use of target-independent application models and application-independent design and product development with growing or changing requirements. [9]

### D. Object Action Language

For modeling of processing the action language called OAL is used [12]. It is a computer language for the description of transition systems. It is used to create formal models of action effects, especially in the field of robotics and artificial intelligence. [13] The basic features of OAL are listed below.

- Simple – it is minimal in the notation, but large enough to be used to model all the necessary processing. [12]
- Abstract – it is an abstract language that works on the level of detail of the created model. [12]
- Model-aware – language instructions recognize both the syntax and the meaning of the model they are part of, while the names of the model elements such as classes, attributes, events, messages, ports, and parameters are analyzed in the OAL. [12]
- Translatable – it is target-independent, but it is translated into a different, target-specific language by a model translator. [12]

#### E. *BridgePoint modeling tool*

BridgePoint is a model-driven development tool with open source code [14]. It consists of UML editor, verifier, and a group of model translators. [8] Verifier is a fully functional model simulator, which from the viewpoint of user has the form of a traditional integrated debugger with elements such as stepping, breakpoints, and variable control. Model translators included in BridgePoint consist of a collection of human readable templates with the option of editing, that pass through the generator. It is a tool that makes executable code in the target language from the model. The resulting code can then be run in different environments from server systems to embedded systems with limited resources, with or without a real-time operating system. BridgePoint offers several target languages, including C, C ++, and VHDL. It uses a formal action language to specify behavior. [14]

### IV. SOLUTION AND RESULTS

The aim of the proposed methodology is to describe the process of creating prototypes of software systems using the model driven development and executable models in the BridgePoint environment. It is designed for software engineers. As input, a clear idea of the software prototype is required. Output of the methodology is a model of the software prototype that corresponds to the initial requirements created by applying the methodology to its inputs. In the case of prototypes with a long lifetime, the result of the methodology is the generated source code of the prototype. The methodology consists of the following steps which are described below in greater detail:

1. Determination of prototype type according to its lifetime (evolutionary or throw-away prototype).
2. Selection of diagrams suitable for describing the system prototype.
3. Creating a model by disassembling the prototype into individual diagrams.
4. Completion of the executable part of the model using OAL.
5. An iterative process of validating and verifying the prototype model by performing it,
6. Translating the model into a specific implementation language (only in case of evolutionary prototypes). [15]

#### A. *Determination of prototype according to its lifetime*

As part of the first step, it is necessary to determine what type of prototype in terms of lifetime will be created. From this point of view, it is possible to split the prototypes into two groups - with a short and long lifetime. Prototypes with short lifetime are intended to illustrate the user's future system and to define the requirements, and their use ends when the final version of the requirements is known. Therefore, they are referred to as throw-away prototypes. The prototype source code does not need to be generated from the model. Prototypes with a long lifetime, also called evolutionary prototypes, on the other hand, count on incorporating their source code into the resulting system. [15]

#### B. *Choosing suitable diagrams for modeling*

The second step of the methodology is to select the diagram or diagrams that will be used to create the model. First, we classify prototypes according to the prototype's focus on a specific aspect of the system. This divides prototypes into three groups:

- User interface prototype – is oriented on the user interaction with the system and most often takes the form of screens that can be traversed. It is not a fully functional prototype, although it may include functionality related to user interaction.
- Database structure prototype – focuses on the structure in which the data will be stored and on the manipulation with this structure. It has a form of a data relational database model. Such a prototype serves to verify and validate the desired information content

of the target system, i.e. whether the system will be able to provide data in scope and quality defined by the requirements. It also verifies, whether the structure of the database has been properly designed, including the appropriate definition of entities and relationships.

- System components prototype – records the overall structure of the system as it displays the system as a set of interconnected components, each of which has different functionality within the system.

Once the prototype type is clearly identified, it is possible to select suitable diagrams for the implementation of the model. The user interface prototype should be modeled by a class diagram complemented by a state machine. The database structure prototype requires a model in which it is possible to capture the system database. The best way is to use the class diagram. For both types of prototypes, it is also necessary to include a component diagram because, in the case of creating a class diagram outside the component, the BridgePoint verifier will not recognize it and will not allow the model to run. The component diagram is in this case comprised of only one component representing the entire system, database, or user interface. Prototypes of a system of components should be recorded using the component diagram. It can be further disassembled to the level of state machines. It is used, for example, in models of embedded systems. [15]

### C. *Creating the model*

The third step of the methodology is the creation of the model. The prototype is broken down into smaller, more detailed parts. For the UI prototype, individual screens are defined that correspond to the classes of the class diagram contained in the component of the component diagram. Each of them has a state machine that describes the transitions between the screen states.

The database structure prototypes are described using one component containing the class diagram. Classes represent individual database tables linked by relationships of different cardinality. In this case, it is not necessary to create state machines.

Prototype of the components of the system are created using component diagram. It is then divided into parts with different functionality. The individual components are interconnected via the interfaces and their functions are used for communication between components. If possible, each component is further broken down using the class diagram. Those, whose state will change during the processing of the model, will be also described by the state machines. [15]

### D. *Implementation of model processing*

The fourth step complements model with its dynamics - processing. This is ensured by the OAL constructs grouped in the source code blocks. Static UML models become executable models. This feature allows to verify the correctness of the created models and therefore the entire system. In the case of prototypes of the user interface and prototypes of the components of the system, model processing is secured at the level of state machines. Actions are attributed to the states of the machine, for example for generating an event under certain conditions, that triggers the transition to the next state. The states are represented by blocks of code with a certain functionality. In the case of the user interface, they represent the actions of the user. In the second case, they represent change in the state of the components, which simulates the prototype execution.

It is possible to create functions, that may be separate or bound to classes as their operations in the class diagram. This approach to implementation of processing is used in the database structure prototypes. Functions and class operations are used to fill, modify, and retrieve data from the database, simulating the basic functions for manipulation with the structure. [15]

### E. *Model verification*

The fifth step is the verification of the model. At this stage, an executable model is run using a BridgePoint verifier. It simulates the execution of the model and performs actions written with OAL. The goal of verification is to test OAL functions and model design to verify the correctness of the constructed prototype. In the case of inappropriate results, the model needs to be remodeled and tested until it meets the initial requirements. Only then, the actual validation result was achieved. This step is also the last step of the methodology in the case of throw-away prototypes, which will not be used in the final system, so generating the source code is not needed. [15]



## F. Model translation

The final step is the translation of the created model, which allows them to be used in the final implementation of the system. BridgePoint contains translators that can generate source code in a programming language, for example, C or C++. This step concerns only evolutionary prototypes. Because a class diagram was used in the UI prototype model, it is also possible to generate a source code, but this code would not be usable in most cases. The translation of the prototype of the components of the system is on the other hand desirable, because it is often used to model embedded systems. [15]

## G. Implementation of presented methodology

The methodology has been tested by implementing three types of system prototypes. The first prototype was designed to capture the structure of the system. It was a prototype of an embedded washing machine system describing the system as a set of interconnected and communicating components. The second prototype focused on the structure of the database of the company's information system. The last one was a prototype of the travel agent information system focusing on the description of the user interface. For each prototype a model was created according to the individual steps of the methodology, verified and validated by the verifier tool and finally translated into source code in C++. [15]

## V. CONCLUSION

The proposed methodology represents a good way to demonstrate software engineers the process of prototyping using executable models in BridgePoint. Its main benefit lies in offering this solution for the three core types of prototypes in terms of what part of the system they cover. During each step, the methodology guides the whole prototype design process. Its implementation on three exemplary prototypes in BridgePoint has proven the methodology to be appropriate and easy to use with this tool. It also makes the process of designing an executable model more efficient.

The software prototyping area categorizes prototypes according to several criteria, so the methodology could be in the future extended to provide solutions for other specific types of prototypes. It would also be helpful, if the methodology dealt with a wider range of UML diagrams.

## ACKNOWLEDGMENT



This work is the result of the project implementation: IT4KT - Information technology for knowledge transfer (ITMS project code: 26220220123) supported by the Research & Development Operational Program funded by the ERDF.

## REFERENCES

- [1] CAO, JERRY; ZIEBA, KAMIL; ELLIS, MATT. The Ultimate Guide to Prototyping [Online]. UXPin, 2015. [cit. 2016-03-26]. Available from: <<https://studio.uxpin.com/ebooks/guide-to-prototyping/>>.
- [2] BEAUDOUIN-LAFON, MICHEL; MACKAY, WENDY E. Chapter 52, Prototyping Tools and Techniques. [cit. 2016-06-18]. Available from: <<https://www.lri.fr/~mackay/pdffiles/Prototype.chapter.pdf>>.
- [3] P. WOOD, DAVID; C. KANG, KYO. A Classification and Bibliography of Software Prototyping. [cit. 2016-12-10]. Available from: <[https://resources.sei.cmu.edu/asset\\_files/TechnicalReport/1992\\_005\\_001\\_16067.pdf](https://resources.sei.cmu.edu/asset_files/TechnicalReport/1992_005_001_16067.pdf)>.
- [4] Model driven architecture. [cit. 2016-06-16]. Available from: <[https://cs.wikipedia.org/wiki/Model\\_driven\\_architecture](https://cs.wikipedia.org/wiki/Model_driven_architecture)>.
- [5] RAISTRICK, CHRIS. Model Driven Architecture with Executable UML, Volume 1. Cambridge University Press, 2004. 392 s.
- [6] DEN HAAN, JOHAN. MDA, Model Driven Architecture, basic concepts. [cit. 2017-01-23]. Available from: <<http://www.theenterprisearchitect.eu/blog/2008/01/16/mda-model-driven-architecture-basic-concepts/>>.
- [7] The Fast Guide to Model Driven Architecture – The Basics of Model Driven Architecture. [cit. 2017-01-23]. Available from: <[http://www.omg.org/mda/mda\\_files/Cephas\\_MDA\\_Fast\\_Guide.pdf](http://www.omg.org/mda/mda_files/Cephas_MDA_Fast_Guide.pdf)>.
- [8] xtUML, About. 2016. [cit. 2016-03-26]. Available from: <<https://xtuml.org/about/>>.
- [9] Executable and Translatable UML Summary. [cit. 2017-01-23]. Available from: <[https://www.xtuml.org/wp-content/uploads/2012/09/xtUML\\_Summary.pdf](https://www.xtuml.org/wp-content/uploads/2012/09/xtUML_Summary.pdf)>.
- [10] STARRETT, CORTLAND. xtUML: Current and Next State of a Modeling Dialect. [cit. 2017-04-22]. Available from: <<http://ceur-ws.org/Vol-1760/paper5.pdf>>.
- [11] BURDEN, HAKAN; HELDAL, ROGARDT; SILJAMÄKI, TONI. Executable and Translatable UML – How Difficult Can it Be? [cit. 2017-04-22]. Available from: <<http://www.cse.chalmers.se/~burden/pdfs/PID2095739.pdf>>.
- [12] Action Language (OAL) Tutorial. [cit. 2016-06-16]. Available from: <<https://xtuml.org/learn/action-language-tutorial/>>.
- [13] Action language. [cit. 2016-06-16]. Available from: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Action\\_language](https://en.wikipedia.org/wiki/Action_language)>.
- [14] CABOT, JORDI. xtUML – eExecutable Translatable UML Open Source Editor. [cit. 2016-06-16]. Available from: <<http://modeling-languages.com/xtuml-executable-translatable-uml-open-source-editor/>>.

- [15] PETRUŠKOVÁ, VERONIKA. Prototyping of Software with Using of Executable Models. [cit. 2017-05-15].

# Krátky opis videoštandardu H.265

<sup>1</sup>Ludmila MACEKOVÁ, <sup>2</sup>Juraj NOVÁK

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach

<sup>1</sup>ludmila.macekova@tuke.sk, <sup>2</sup>juraj.novak.2@student.tuke.sk

**Abstrakt** — V tomto príspevku je stručne opísaný kompresný videoštandard H.265 (označovaný tiež HEVC - High Efficiency Video Coding). V zhode so svojím názvom je H.265 vysokovýkonný videokodek, ktorý vznikol vývojom zo staršieho štandardu H.264 ako odpoveď na vzrastajúcu požiadavku na vysokokomprimované a flexibilne nastaviteľné videá pre rôznorodé aplikácie - internetový videostriaming, videokonferencie, komunikáciu, ukladanie videí a digitálnu televíziu.

**Kľúčové slová** — videoštandard, videokompresia, videokodek, H.265, HEVC

## I. ÚVOD

Vďaka zníženiu nákladov na výpočtový výkon a úložný priestor, rozvinutiu sieťových technológií a nárastu nárokov na ne zo strany užívateľov nastúpila požiadavka na efektívnejšiu kompresiu videa, flexibilitu jeho parametrov a jeho zvýšenú odolnosť v sieťových prostrediach. Skupiny ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG) a ISO / IEC Moving Picture Experts Group (MPEG) v roku 2010 založili spoločný Joint Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC) a neskôr v roku 2012 aj Joint Collaborative Team on 3D Video Coding Extension Development (JCT-3V), spoločnosti, ktoré sa mali zaoberať vývojom videoštandardu H.265.

H.265 (označovaný HEVC - High Efficiency Video Coding) je nástupcom v súčasnosti všeobecne rozšíreného kodeku H.264/AVC (Advanced Video Coding). Vďaka mnohým vylepšeniam ho v krátkosti možno charakterizovať ako dvojnásobne efektívny pri kompresii so zachovaním rovnakej kvality videa ako H.264. V roku 2004 sa objavil pod názvom H.NGVC (Next Generation Video Coding).

Prvý funkčný návrh („Draft“) špecifikácie HEVC bol predstavený v októbri 2010 skupinou JCT-VC, ktorá neskôr pridala viacero vylepšení v kódovacích nástrojoch a konfiguráciách. 25. januára 2013 ITU oznámila, že HEVC dostal prvé úspešné schválenie štandardizácie v ITU-T Alternative Approval Process (AAP). Rovnakého dňa skupina MPEG oznámila finálne vydanie vydanie HEVC (Final Draft International Standard - FDIS) [1].

## II. PROFILY, ÚROVNE

Štandard nepredstavuje zaručenú spoluprácu vnútorných systémov, preto je potrebná určitá variácia schopností na podporu veľkého množstva rôznych aplikácií. Postupom času sa schválili až štyri verzie videoštandardu H.265/HEVC. Kvôli rôznym podmienkam pri práci HEVC využíva rozličné profily a úrovne, ktoré sa týmito podmienkam vedia prispôbiť. Tieto profily sú zaradené pod 4 verzie kodeku:

- *Version 1* (2013): Prvá schválená verzia videoštandardu HEVC/H.265, ktorá zahŕňa profily - Main, Main 10, a Main Still Picture.
- *Version 2* (2014): pridáva ďalších 21 range rozšíriteľných profilov, dva rozšíriteľné škálovacie profily a jeden viacpohľadový rozšíriteľný profil.
- *Version 3* (2015): pridáva 3D Main profile.
- *Verzia 4* (2016): pridáva 7 profilov rozšírenia kódovania obrazu, tri profily s vysokou priepustnosťou a štyri rozšíriteľné škálovateľné profily.

*Profily* definujú množinu kódovacích štandardov, resp. súbor nástrojov pre rôzne aplikácie. Definuje sadu algoritmov, ktoré môžu byť použité na generovanie vyhovujúceho toku bitov (digitálneho videosignálu).

- *Základný Main profil*- je náhrada za známy H.264, pre typické videoaplikácie (YCbCr 4:2:0). Tento profil predstavuje videodáta s hĺbkou 8 bits/sample pri typickom zobrazení luma signálu a dvoch chroma-signalov, ktoré majú polovicu z horizontálneho aj vertikálneho luma-rozlíšenia. Podporuje väčšinu aplikácií.

- *Main 10* - je rozšírením funkcií Main profilu, dokáže pracovať s 10-bitovou hĺbkou obrazu.
- *Main Still Picture* – je určený na kódovanie a kompresiu statického obrazu (efektívnejšie ako JPEG), a to hlavne pre statické fotografie pre kamery alebo na extrakciu snímok z videosekvencií (len intra).

K rozširujúcim profilom patria napr. Monochrome, Monochrome 12, Monochrome 16, Main 12, Main 4:2:2 10, Main 4:2:2 12, atď.

*Úroveň (Level)* určuje obmedzenia kľúčových parametrov videotoku, a dekodovacie systémy vyhovujúce špecifikovanému profilu musia podporovať všetky jeho znaky. Úrovně definujú napr. rozlíšenie, bitové toky, snímkovú frekvenciu, atď. Štandard HEVC má 13 úrovní: 1, 2, 2.1, 3, 3.1, 4, 4.1, 5, 5.1, 5.2, 6, 6.1, 6.2, požadujúcich rýchlostí od 0,1 Mbps po 240 Mbps a poskytujúcich rozlíšenia od 176x144 / 15fps po 8192x4320 / 120fps. Štvrtá a vyššie úrovne sa ďalej môžu rozdeliť na ďalšie 2 stupne (tiers).

Pre porovnanie, H.264/AVC má 17 úrovní podporujúcich rýchlostí od 64 kbps pri maximálnom rozlíšení 128x96 /30 fps po 240 Mbps - 4Kx2K /30 fps. Oba štandardy pritom poskytujú aj úrovne s 60 Hz-snímkovou frekvenciou, a s rôznymi ďalšími variáciami vyššie spomenutých parametrov.

### III. KÓDOVANIE A DEKÓDOVANIE V ŠTANDARDE H.265

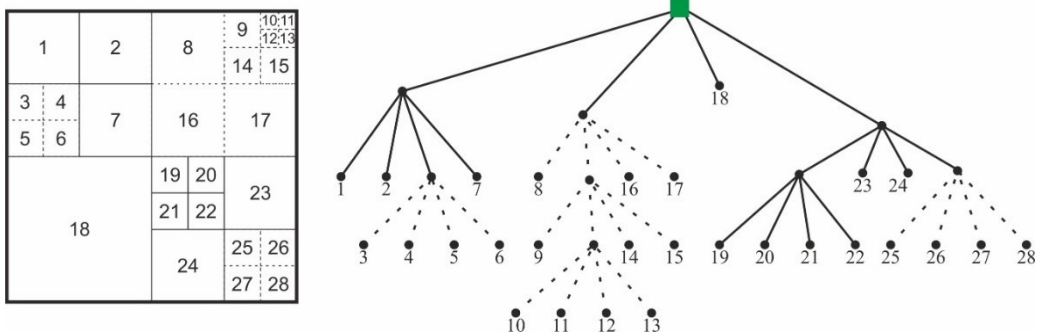
Rozdelenie videosekvencie na GOPs (Groups Of Pictures – skupiny snímok) prebieha rovnako ako pri H.264/AVC. GOP obsahuje priemerne 12 snímok. Kompresia sa dosahuje ukladaním a prenášaním informácií nie o všetkých snímkach v GOP, ale iba o jednej z nich, a o rozdieloch ostatných oproti nej, resp. oproti niektorým z ostatných. GOP začína snímkou I (Intraframe), ktorá sa kóduje „celá“, čo súvisí s vnútrosnímkovým kódovaním a ďalším stupňom kompresie.

Ostatné snímky v GOP sú označené ako P-snímky a B-snímky. P-snímky sú vypočítané z I-snímky na základe predpovedí pohybu objektov. K tejto predpovedi sa používajú pohybové vektory. B-snímky predstavujú rozdiel I-snímky a P-snímky. Pokiaľ majú snímky podobný obsah, kompresia je takto veľmi účinná.

Pri kompresnom kódovaní sa s výhodou využíva vysoká štatistická závislosť dát v rámci jednej snímky (priestorová podobnosť) ako aj medzi susednými snímkami z tej istej sekvencie / skupiny (časová podobnosť a závislosť). Každá snímka (frame – rámeček obrazových bodov / pixelov) je rozdelená kódérom na bloky rôznych veľkostí a tvarov. Jas a farebné hodnoty každého bloku sú transformované do frekvencie (transformácia), a následne spracované kódérom pomocou kvantovania, pri ktorom opäť dochádza k výraznej a nevratnej redukcii dát. Medzislímkové pohybové vektory určené pri interpretácii sú tiež komprimované využitím viacerých predikčných mechanizmov, kvantizované a kódované pomocou aritmetického kódovania.

#### A. Kódový strom

H.265/HEVC zaviedlo efektívnejšie rozdeľovanie snímky na makrobloky oproti H.264. Bola zavedená kódová jednotka CTU (Coding Tree Unit- kódový strom), nazývaná tiež quadtree, kde sa nastavuje veľkosť makrobloku podľa rozlíšenia, a to od makroblokov veľkosti 32x32 až po 64x64 ako napríklad pri HD-videu (Obr.1). Flexibilné prispôbovanie veľkosti a tvaru blokov textúre obrazu (Obr. 3) v tomto kodeku vyžaduje vyšší výpočtový výkon, čo sa považuje za jeho nevýhodu.

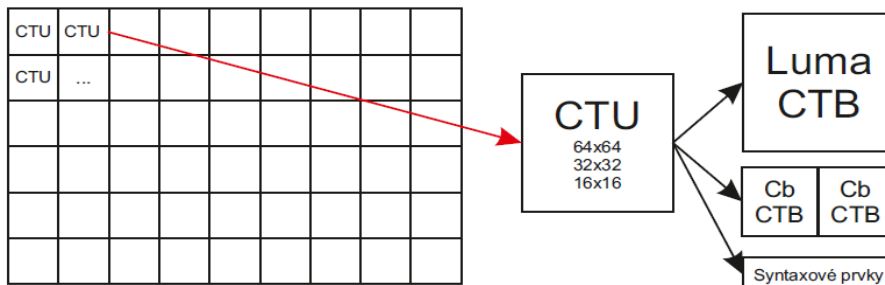


Obr. 1 Ilustrácia rozdelenia snímky do blokov podľa metódy CTU a kódový strom [1]

CTU zvyčajne pozostáva z troch blokov (CTB – Coding Tree Block): luma vzorky (Y), dve chroma vzorky (Cb, Cr), syntaxové prvky (Obr. 2).

### B. Intra-predikcia

Pri intrapredikcii sa používajú iba štvorcové bloky, pri interpredikcii to môžu byť aj obdĺžnikové bloky s najmenšou stranou tvorenou minimálne 4 pixelmi. Delenie snímky na bloky je fázou predchádzajúcou kroku vyhľadávania podobných blokov v susedných snímkach v rámci interpredikcie (medzislímkovej predikcie), a to ako pri jednosmernej (P), tak pri obojsmernej (B) predikcii. Výsledkom vyhľadávania je stanovenie vektorov pohybu jednotlivých štruktúr / detailov / objektov v obraze, a ich kódovanie.



Obr. 2 Rozdelenie snímky na CTU [2]

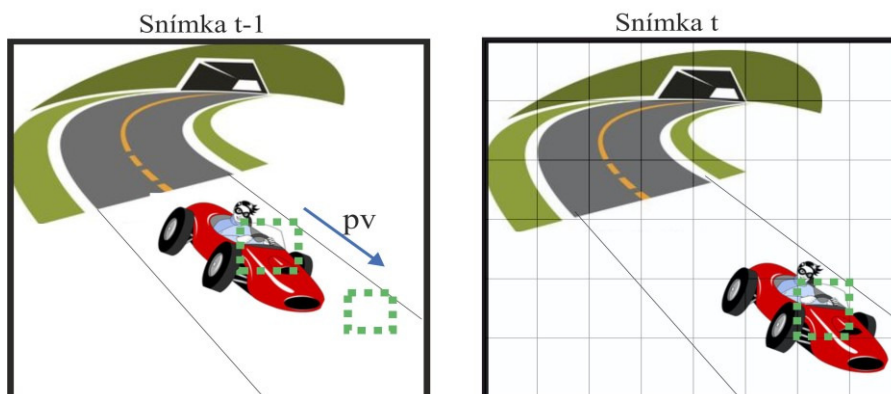


Obr. 3 Rozdelenie na bloky H.264 a H.265 [3]

Intrapredikcia pri H.265/HEVC obsahuje oproti svojmu predchodcovi ďalšie vylepšenie. Zväčšil sa počet smerových režimov z predošlých 8 na 33 uhlových módov, a tým sa dosiahlo zlepšenie modelovania smerových textúr a zlepšenie rekonštrukcie hladkých oblastí. Dekodér podporuje 132 kombinácií veľkostí blokov a smerov predikcie.

### C. Interpredikcia

Interpredikcia pracuje s vektormi pohybu, a skladá sa z odhadu pohybu (motion estimation) a kompenzácie pohybu (motion compensation) (Obr. 4). Vektory pohybu môžu mať presnosť až  $\frac{1}{4}$  pixelu (preto sa vyžaduje interpolácia) [2]. Pracuje s jednosmernými alebo obojsmernými vektormi, ktoré sú pridelené predikčnej jednotke PU (Prediction Unit). Interpredikcia v H.265/HEVC neprináša revolučné zlepšenia ako ostatné časti tohto videoštandardu. Viaceré časti interpredikcie boli len vylepšené a obohatené o inovácie.

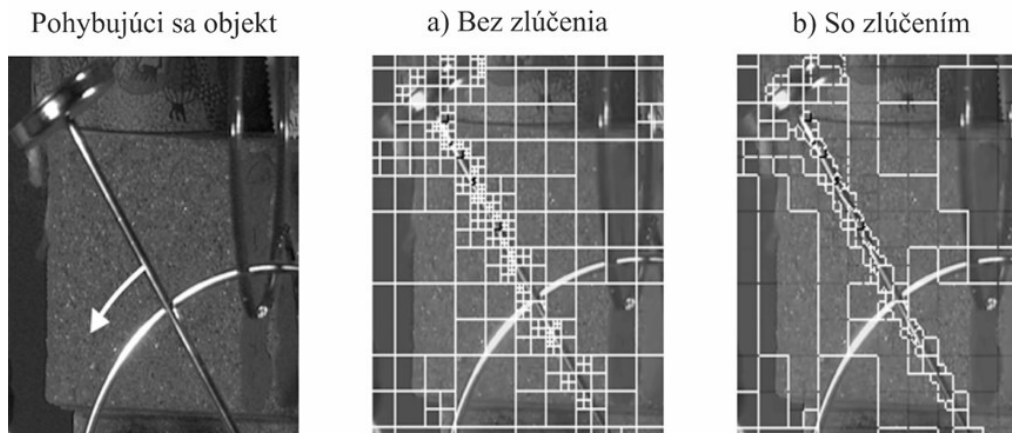


Obr. 4 Inter predikcia s využitím pohybovej kompenzovanej predikcie (PV - je vektor pohybu)

Predikcia pohybového vektora bola zdokonalená o predikciu pokročilých pohybových vektorov (AMV – Advanced Motion Vectors), ktoré pracujú na základe konkurencie pohybových vektorov.

#### D. Zlučovací mód (Merge Mode)

Rozdelenie blokov do quadtree má nevýhodu nadmerného segmentovania obrazu. To vedie k redundantnej signalizácii a „roztráseným“ hraniciam. Týmto problémom sa dá predísť pomocou zlúčenia blokov – vid' ukážka na Obr. 5. Na prvom obrázku sa nachádza pohybujúci sa objekt – kyvadlo, ktorého pohyb je zobrazený pomocou šípky. Na obrázku a) je skreslenie optimalizované pomocou rozdelenia do blokov typu quadtree pre parametre interpretácie, zobrazených pomocou bielych okrajov, a na obrázku b) sú zobrazené už iba efektívne okraje blokov po ich zlúčení [1].



Obr. 5 Detail sekvencie videa ilustrujúci zlučovací (merge) mód [2]

#### E. Transformácia a kvantizácia

H.265/HEVC vykonáva dvojrozmerné transformácie DCT (Discrete Cosine Transform) rôznych veľkostí (4x4 až 32x32). Alternatívou je 4x4 celočíselná transformácia založená na DST (Discrete Sine Transform), pre použitie v 4x4 luma intrapredikcii reziduálnych blokov.

Kvantizácia H.265/HEVC je podobná ako v H.264/AVC, kde je kvantizačný parameter (QP), v rozmedzí 0-51 (pre 8-bitové video sekvencie), mapovaný na veľkosť kroku kvantifikátora, ktorá sa zdvojnásobí, ak sa hodnota QP zvýši o 6.

Špeciálne režimy kódovania, ktoré sa využívajú na modifikáciu procesu transformácie a kvantizácie sú nasledovné:

- I\_PCM - vynecháva sa transformácia, kvantizácia, entropické kódovanie, predikcie; využíva sa pri stave, kedy dochádza pri kódovaní k rozšíreniu dát (napr. vloženie náhodného šumu).
- Lossless - Bezstratový režim - vynecháva sa transformácia, kvantizácia, rekonštrukčný filter - využíva sa pri kódovaní videosekvencií so zmiešaným obsahom (napr. video s prekrytým textom a grafikou).
- Transform skip mode - Režim preskočenia transformácie - vynechá sa iba transformácia - zlepšuje kompresiu obrazového obsahu videosekvencií generovaných v aplikáciách (napr. vzdialená pracovná plocha, prezentácie).

#### F. Rekonštrukčný/In-loop filter

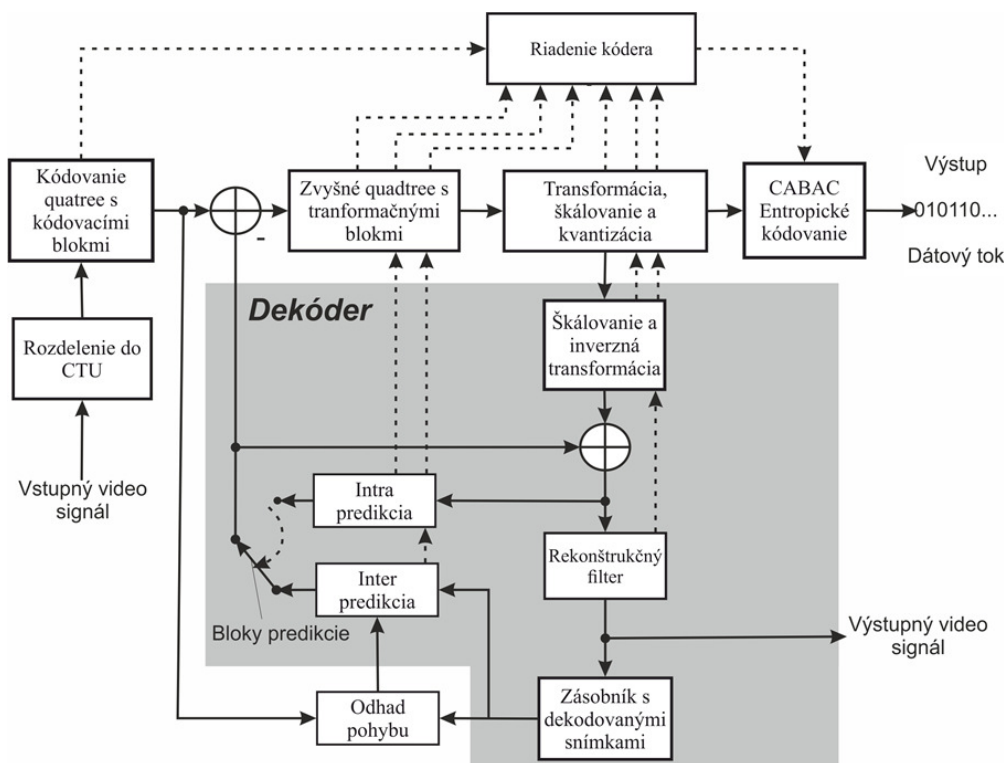
Filtry v slučke (In-loop filters) sa používajú v kódovacích a dekódovacích slučkách po inverznej kvantizácii a pred uložením snímky do vyrovnávacej pamäte dekódovaných snímok. Ako prvý sa na snímku aplikuje deblokačný filter (DF). Zmierňuje diskontinuity (blokové artefakty) vzniknuté pri predikcii a transformácii hraníc blokov. Vzhľadom k výpočtovej náročnosti kodeku sa tento filter nezapája v procese spracovania zakaždým v plnej miere, a je dokonca možnosť ho užívateľsky celkom vypnúť. SAO (Sample Adaptive Offset) filter sa aplikuje na výstup deblokačného filtra a ďalej zlepšuje kvalitu dekódovaného obrazu tlmením „vzváňacích“ artefaktov (attenuating ringing artifacts) a zmeny intenzity vzorky v niektorých oblastiach obrazu. Tieto sa objavujú ako rušivé signály v blízkosti ostrých prechodov signálu.

#### G. Entropické kódovanie

Entropické kódovanie sa používa na odstránenie redundancie, ktorá nie je eliminovaná predikčnými nástrojmi. Používa pravdepodobnostné rozloženie syntaxových prvkov. Pre

H.265/HEVC bola prijatá iba jedna metóda entropického kódovania, a to CABAC (Context-Adaptive Binary Arithmetic Coding), ktorá dosahuje 6,1 až 7,6 % úspory dátového toku a o 10 až 15 % vyššiu kódovaciú efektivitu oproti CAVLC (Context-Based Adaptive Variable Length Coding), ktorá sa využíva v H.264/AVC. (V H.264/AVC sa využíva aj CABAC). CABAC tu uplatňuje bezstratovú kompresiu syntaxových prvkov. Toto kódovanie je výpočtovo náročné, zároveň je však navrhnuté tak, že umožňuje paralelné výpočtové spracovanie.

Bloková schéma videoštandardu je zobrazená na Obr. 6 a hlavné rozdiely medzi ním a štandardom H.264/AVC sú v Tabuľke 1.



Obr. 6 Bloková schéma H.265

#### IV. ZÁKLADNÉ ROZDIELY MEDZI H.264 A H.265

Tabuľka 1  
 Základné rozdiely medzi H.264 a H.265

	H.264	H.265
Vylepšenia	*o 40-50% nižšia bitová rýchlosť oproti MPEG-2 Part *uplatnenie pri HD, pre vysielanie a online	*o 40-50% nižšia bitová rýchlosť oproti H.264 pri rovnakej kvalite videa *uplatnenie pri Ultra HD, 2K, 4K pre vysielanie a online (OTT)
Podpora do 8K	Nie, podpora do 4K (4094x2304)	Áno
Podpora do 300 fps	Nie, podpora do 59,94 fps	Áno
Profily	21 schválených profilov; 17 úrovní	3 schválené profily, návrh pre ďalších 5; 13 úrovní
Entropické kódovanie	CABAC a CAVLC	CABAC
Kompresia/Model	Hybridný priestorový temporálny prediktívny model	Vylepšený predchádzajúci model
Odvetvia prijatia	Dominantný video kodek pre káblové, pozemné, satelitné a IPTV vysielanie. Rozsiahle používané v Blu-Ray, bezpečnostných systémoch, video konferenciách, mobilných videách, multimediálnych prehrávačoch, video chat, atď.	Príklad implementácie NAB, IBC a iné udalosti začínajúce v roku 2012 spoločnosťami napr. ATEME, Broadcom, Thomson, Harmonic (Cisco), Ericsson, Qualcomm atď.
Nevýhody	Neumožňuje prenos UHD	Vysoký výpočtový výkon

## V. METRIKY

V procesoch kódovania, dekódovania a na vyhodnocovanie ich účinnosti sa uskutočňuje aj vyhodnocovanie kvality snímok a videa, na čo sa využívajú tzv. číselné metriky kvality. Existujú rôzne metódy merania, od najjednoduchších, ktoré poskytujú iba hrubé odhady kvality, po tie najzložitejšie, ktoré poskytujú presné hodnoty. Spomenieme krátko len dve z nich: PSNR a SSIM.

### A. PSNR

Metrika PSNR (peak signal-to-noise ratio - špičkový pomer signálu k šumu) patrí medzi najrozšírenejšie metódy merania kvality obrazu. Na jej výpočet sa používa MSE (Mean Square Error - stredná kvadratická chyba), predstavujúca kumulatívnu kvadratickú chybu medzi komprimovaným  $I_2$  a pôvodným obrazom  $I_1$  (1), zatiaľ čo PSNR predstavuje mieru vrcholovej chyby (2).

$$MSE = \frac{\sum_{M,N} [I_1(m,n) - I_2(m,n)]^2}{M \cdot N} \quad (1),$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{L^2}{MSE} \right) \quad (2),$$

kde  $M$  - počet riadkov,  $N$  - počet stĺpcov snímky,  $I_1, I_2$  - intenzitné matice snímok s rozmermi  $M \times N$ ,  $L$  - konštanta, dynamický rozsah, maximálna hodnota intenzity, ktorú môže pixel v obraze nadobudnúť.

Hodnota PSNR sa vypočítava pre každú zo zložiek  $Y, C_b, C_r$  zložkového farebného obrazu. Čím vyššia je hodnota PSNR, tým je obraz kvalitnejší. Pre 8-bitovú hĺbku kódovania videa, sú priemerné hodnoty medzi 30 až 50 dB a pre 16 bitovú hĺbku o niečo vyššie, 60 až 80 dB [5].

### B. SSIM

Parameter PSNR však môže vyjsť rovnaký pri štrukturálne odlišných snímkach a videách. Metrika SSIM (Structural SIMilarity index - index štrukturálnej podobnosti) (3) sa zameriava na rozdiely štruktúr meranej a referenčnej snímky, pretože je známe, že ľudské oko je citlivé práve na tieto rozdiely. Kvalitatívny parameter SSIM sa v literatúre uvádza ako parameter kvality blízky jej reálnemu vnímaniu ľudským zrakom. Hodnoty SSIM sa udávajú od 0 do 1, kde hodnota blízka 1 znamená podobnosť s referenčnou snímkou a zároveň vyššiu kvalitu snímky [6].

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \quad (3),$$

V rovnici (3) sú použité štatistické a ďalšie parametre hodnôt intenzít pixelov dvoch porovnávaných obrazových signálov  $x$  a  $y$ :  $\mu_x$  - priemer  $x$ ,  $\mu_y$  - priemer  $y$ ,  $\sigma_x^2$  - rozptyl  $x$ ,  $\sigma_y^2$  - rozptyl  $y$ ,  $\sigma_{xy}$  - kovariancia  $x$  a  $y$ ,  $c_1 = (k_1L)^2$ ,  $c_2 = (k_2L)^2$  - sú dve premenné na stabilizáciu rozdelenia s príliš malou hodnotou menovateľa (3),  $L$  - dynamický rozsah hodnôt pixelov,  $k_1 = 0,01$ ,  $k_2 = 0,03$ .

## POĎAKOVANIE



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/ Projekt bol spolufinancovaný zo zdrojov EÚ. Tento článok bol vypracovaný vďaka podpore projektu "Centrum excelentnosti integrovaného výskumu a využitia progresívnych materiálov a technológií v oblasti automobilovej elektroniky", ITMS 26220120055.

## LITERATÚRA

- [1] V. Sze, G. J. Sullivan, B. Madhukar, "High Efficiency Video Coding (HEVC). Algorithms and Architectures". 2014, ISBN 978-3-319-06894-7, ISBN 978-3-319-06895-4 (eBook)
- [2] „HEVC - What are CTU, CU, CTB, CB, PB, and TB?“ <https://codesequoia.wordpress.com/2012/10/28/hevc-ctu-cu-ctb-cb-pb-and-tb/>
- [3] T. Schiesser, „Guide to HEVC/H.265 Encoding and Playback“. <http://www.techspot.com/article/1131-hevc-h265-encoding-playback/>
- [4] V. Sze, B. Madhukar, „Design and Implementation of Next Generation Video Coding Systems (H.265/HEVC Tutorial)“, 2014. Dostupné na internete <http://www.rle.mit.edu/eems/wp-content/uploads/2014/06/H.265-HEVC-Tutorial-2014-ISCAS.pdf>
- [5] Materiál dostupný na internete: <https://www.mathworks.com/help/vision/ref/psnr.html>
- [6] Ch. Li, A. C. Bovik, „Content-weighted video quality assessment using a three-component image model. Materiál dostupný na internete. [http://live.ece.utexas.edu/publications/2010/li\\_jei\\_jan10.pdf](http://live.ece.utexas.edu/publications/2010/li_jei_jan10.pdf)
- [7] H.265 : High efficiency video coding (4/15). Materiál dostupný na internete <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.265-201504-S/en>.



# Creation and visualization of conceptual models based on FCA in R

Laura ROHALOVÁ, Peter BUTKA

Department of Cybernetics and Artificial Intelligence, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

`laura.rohalova@student.tuke.sk`, `peter.butka@tuke.sk`

*Abstract* — This work deals with a formal concept analysis in which a Java algorithm for creating concepts from a given input file was created. In this work, a tool is created in the chosen language R, which is able to cooperate with the given java algorithm and, based on its calculations, visualizes the graph of the concept lattices. The package also includes a metric calculation function and simple visualization. In the work is described in detail the modification of the algorithms in the Java package and creation of the total R packages with all its components. The result is a designed, programmed and assembled functional and efficient R package which, based on the input R table, is able to generate a correct, readable and legible chart of the concept pool with appropriate metrics. The output of this work is thoroughly tested on the selected data files and the results show its functionality and stability.

*Keywords* — Formal concept analysis, R package, Java, concept lattice, graph, metrics

## I. INTRODUCTION

Formal concept analysis [1] is an extended data analysis method, and there are several algorithms that deal with it. One of such algorithms is the GOSCL project, which is able to create concepts from input data on the basis of conceptual analysis.

The role of this package is to implement this project into a selected R tool, which is suitable for cooperation with the Java language on the basis of the rJava utility package. The R language offers the creation of custom packages of functions that contain both algorithms in R and Java algorithms.

The aim of the package is to re-implement the GOSCL project into R and to create a different graphical output. Part of the work is also the calculation and simple visualization of some metrics or creation of the input file.

In essence, the package will enable users to use the enhanced GOSCL model in the R language environment. At the end of the work, the package will be tested and demonstrated to its functionality and efficiency.

## II. FORMAL CONCEPT ANALYSIS

The theory of formal concept analysis was originally developed as an attempt to change the theory of graphs. Finally, however, its main objective today is to analyze data files with respect to the properties of its members. Instead of the term of formal concept analysis, the term method of concept lattices is also used. Conceptual associations develop this knowledge, visualize the concept structure and search for patterns and exceptions.

FCA is a method of object-attribute data analysis. The input is a formal context  $K = (O, A, V)$ , where  $O$  is a set of objects within the context,  $A$  are attributes and  $V$  are relations between  $O$  objects and attributes  $A$ . More information can be found in the articles referenced [1][2].

GOSCL project (Generalized One-Side Concept Lattices) [3] is an incremental algorithm that has been designed to create generalized one-sided concept lattices, where concepts are clusters of input objects which share attributes. This FCA program allows a one-sided, formal generic concept to create unilateral conceptual conventions. Thanks to this algorithm/model, it is also possible to process different types of attributes within one type of input formal context.

### III. RELATED WORK

There are several examples of software packages that deal with FCA:

#### A. *Galicia*

*Galicia* [4] is an integrated software platform that includes key operations with concepts required in practical applications or rather in theoretically oriented studies. In practice, this means that the platform configuration includes the following main features:

1. Input context
2. Creating of concept lattice
3. Visualization of concept lattice

Also included are various assistive functions in architecture such as interactive data inputs, output in various formats, and so on.

#### B. *ToscanaJ*

The task of this software [5] is to transform the original tool of Toscana's formal conceptual analysis to provide the FCA community with the platform for work. Since the original Toscana is just a conceptual schema viewer and is optimized mainly for a non-technical audience, the new version comes with the added data creation tools and offers several other technical tools for analysis.

A list of several important features of ToscanaJ:

- Display of simple and nested line diagrams.
- You can filter the interest objects by tapping.
- Nodes can be clicked to highlight and display the help.
- Diagrams can be exported as SVG, PNG, JPG.
- Other views from the database can be opened from the diagram, Using HTML templates.
- The browser interface is created as a plug-in interface so that it is easy to expand Toscana for special purposes.

#### C. *ConExp*

*ConExp* [6] implements the basic ideas needed to study and research a formal conceptual analysis. The software is used to analyze a simple object-attribute table (so-called FCA formal context), draw a corresponding conceptual graph, and examine the different dependencies that exist among the attributes.

The software provides the following tools:

- editing the context,
- creation of conceptual associations from a formal context,
- finding a basis for implications that are true in a formal context,
- finding a basis for association rules that are true in a formal context,
- performing attribute research.

### IV. USED SOFTWARE AND OTHER COMPONENTS

#### *R (Rstudio)*

R is a language and environment for statistical computing and graphics [1]. It provides a wide range of statistical and graphical techniques. One of the best things about R is a simple way to create various 2D and 3D graphs and images of professional quality. Various graphs can be edited, added a variety of mathematical symbols and formulas, add descriptions, change the color, size, appearance and so on. Rstudio is an integrated development environment (IDE) for the R language, which includes console, editor, tool for rendering, history, debugging and managing workspace [7]. In Rstudio software, it is very easy to create a custom package with user's functions.

#### *Netbeans*

Netbeans IDE is an environment to create algorithms in Java language.

#### *rJava*

Rjava is R package and it is a simple interface between R and Java. The package is available through the CRAN. Allows you to create objects, call methods and approaches to the field of Java in R [8][9].

### *Jsonlite*

Jsonlite R package [10] was created to convert data frames in R to files of types JSON. The package offers conversion bidirectionally.

### *DiagrammeR*

This is the R package [11], which communicates with GraphViz software and can create a graph of concept lattice from input data file, which has a strict structure (node file).

## V. PROPOSAL FOR A NEW PACKAGE

In Rstudio was created R package called FCAGOSCL with the following structure of folders, all according to definition how R packages have to be written and compiled (see Writing R Extensions for details [12]):

### FCAGOSCL

- └- **inst**
- └- **doc** (documentation for R package of types rnw and generated pdf)
- └- **java** (JAR files of Java algorithm)
- └- **java** (files .java of algorithms that were added to GOSCL model)
- └- **man** (Help pages for all functions, file type .Rd)
- └- **R** (R codes for all functions)
- └- **vignettes** (documentation for R package of types rnw and generated pdf)
- └- **DESCRIPTION** (identity card of the package)
- └- **NAMESPACE** (file for definition of import and export function)
- └- **and other automatically generated files**

This package was built and then stored in the form *FCAGOSCL.ZIP*, what is now an installation file available to users.

## VI. INSTALLATION AND USAGE OF PACKAGE

### *Installation*

Users can install the package by using card "Packages" in the window of Rstudio by selecting "Install".

In the first option, select "*Install from Archive File Package*", ". In the second option, you enter location package with the extension zip to begin the installation.

Once installed, the package appears in the list Packages and is ready for use. Click the name to view all necessary manuals, examples and help pages to functions.

Load a package by using the command: `> library(GOSCL)`

Console automatically displays a message: "Loading required package: rJava, Loading required package: DiagrammeR, Loading required package: jsonlite " and retrieves the packages rJava, DiagrammeR, and jsonlite, which are essential to the functioning of the package and are specified as a "Depends" in Description file, so he needs these packages for future operations.

If the package is loaded properly, and also auxiliary packages are loaded correctly too, we can use the functions of the package for any data written to the file in the correct format that GOSCL requires. Similarly, we can use the data in a table stored directly in R, which can convert to JSON file by function MakeJson.

### *Functions*

FCAGOSCL package includes four important functions to generate the graph of concept lattice and to create an input file. Also, includes complete documentation in Slovak and English language to all functions.

#### *A. MakeJson ( Rtab, file, create=(custom, automatic) )*

This function is for creating JSON file from R table based on correct GOSCL structure. There are two ways to create JSON. The first is custom, where the user defines the type of attributes from all columns. There can be used type: Interval, Diamond, Chain, and General. The second option is creation automatically based only on the correct definition of the data frame. This version can define only types: Interval, Chain, and Diamond.

At the input, the user enters these two mandatory parameters and one optional parameter:

1. name of table in R,
2. name of file with path to folder where JSON will be saved (file don't need to exist, R will create it automatically),
3. version of creation (custom or automatic) (optional – when missing, the system uses “custom”).

User writes command to console in R like:

Example 1: `> MakeJson(MyTab, "C:/Users/Laura/Desktop/data.json")`

The return value of the function is string type and looks like this: "JSON file was successfully created!" Also, the function creates the required file in the specified path.

*B. GraphFromFile (inputF, type=("classic", "sum", "nameAttrs"), cutNull=("FALSE", "TRUE"), showNodeFile=("FALSE", "TRUE"))*

This function creates a concept lattice from the given data. The data are saved in a file of JSON type. The function offers a graph view of three types. The function also offers the possibility of cropping a graph that contains 0 objects and possibility to view NODE file (from DiagrammeR). The auxiliary JSON file named concepts.json will be created in a computer where the R itself is installed (mostly Documents). It's just an auxiliary file that contains information about concepts and their relationships. From this file, the function creates a table. From this table, the graph is created.

At the input, the user enters one mandatory parameter and three optional parameters:

1. the entire path to the data file that is either prepared by the user or is generated by MakeJson function,
2. type of displayed graph. The application offers 3 types. Classic type contains a list of objects and a list of attributes in individual concepts. The sum type contains the number of objects instead of the list of objects. And the last type name Attr contains in its attribute line also their names, so the function displays for each attribute - name: value. ) (optional – when missing, system uses “classic”)
3. an argument for cutting concept of value zero from graph, (optional – when missing, system uses “FALSE”)
4. this function offers an option to display process of creation of auxiliary file named NODE file (optional – when missing, system uses “FALSE”)

User writes command to console in R like:

Example 2: `> GraphFromFile("C:/Users/Laura/Desktop/data.json", type="sum", showNodeFile = "TRUE")`

The return value is a table that contains the concepts and relationships between them. In the background, we also create a graph of the concept lattice that is displayed but not directly stored in the variable.

*C. calculateMetrics (input, showNodeFile=c("FALSE", "TRUE"))*

This function is used to display a graph of concept lattice from the given data. This graph also contains values of the calculated metrics: support and confidence. The value of the support is displayed in each concept and the confidence values are at the line between the concepts.

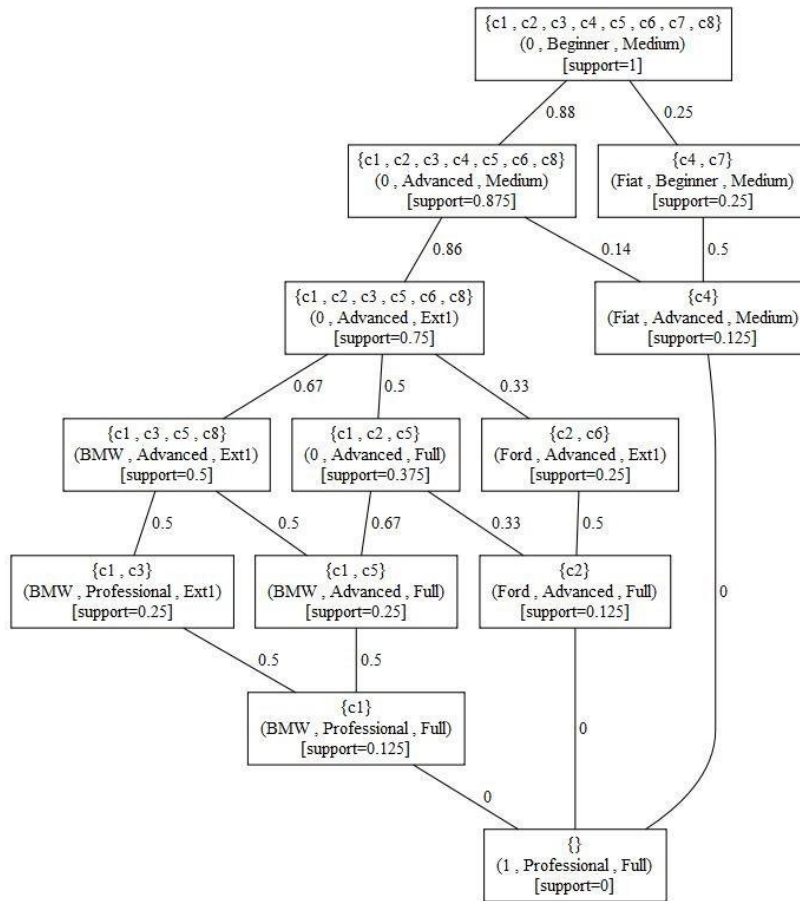
At the input, the user enters one mandatory parameter and one optional parameter:

1. the entire path to the data file that is either prepared by the user or is generated by MakeJson function,
2. this function offers an option to display process of creation of auxiliary file named NODE file (optional – when missing, system uses “FALSE”)

User writes command to console in R like:

Example 3: `calculateMetrics("C:/Users/Laura/Desktop/data.json")`

The return value is a table that contains ID value of each concept and his values of metrics. In the background, we also create a graph of the concept lattice that is displayed but not directly stored in the variable.



**Obr. 1: Generated graph of concept lattice from function calculateMetrics**

*D. supportGraph (input, supportNumber)*

This is a function to display a graph in which the support metric is evaluated and all concepts that do not meet the minimal support requirement will be cropped from displayed graph. Minimum support is set by the user on the input.

At the input, the user enters two mandatory parameters:

1. the entire path to the data file that is either prepared by the user or is generated by MakeJson function.
2. limit of minimal support, all concepts that have support less than specified supportNumber will be cropped and not shown in the graph

User writes command to console in R like:

Example 4: `supportGraph("C:/Users/Laura/Desktop/data.json", 0.25)`

The return value is the cropping graph itself.

VII. CONCLUSION

The aim of this work was to implement an algorithm for creation of model GOSCL in tool R. The task was to create a meaningful and readable output from the algorithm, to calculate two types of metrics and to help users create an input file from R table. The goal was met and expanded by two other types of graph view and visualization of one of the metrics. Testing the package has demonstrated that the features work correctly, efficiently, and do not cause any unexpected errors or failures.

In both tests, the correct graph of the concept lattice and the correct metric calculation were generated without problems. Also successful was the creation of an input file, whether by automatic or custom version of the feature. Also, without any errors, visualization of the support metric was based on the entered values. When testing for large data, it also turned out that the package functions work correctly.

The topic of the formal concept analysis is very extensive, and the R tool provides a number of ways to improve or expand the package in the future. Possible improvements could be to create additional viewing methods, increase the number of metrics and visualize them, or replace the DiagrammeR package with another package to create a more interactive graph of the concept lattice.

#### ACKNOWLEDGMENT

This publication arose thanks to the support of the Operational Programme Research and development for the project "Centre of Information and Communication Technologies for Knowledge Systems" (ITMS code 26220120020), co-financed by the European Regional Development Fund.

#### REFERENCES

- [1] BĚLOHLÁVEK R., Konceptuální svazy a formální konceptuální analýza, [online]. [cit. 2017-03-28]. Dostupné na internete: [http://belohlavek.inf.upol.cz/publications/Bel\\_Ksfka.pdf](http://belohlavek.inf.upol.cz/publications/Bel_Ksfka.pdf)
- [2] KANG Y., HWANG S., YANG K. : FCA-based conceptual knowledge discovery in Folksonomy. World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol:3, 2009.
- [3] BUTKA, P. , PÓCSOVÁ, J. , PÓCS, J.: Design and implementation of incremental algorithm for creation of generalised one-sides concept lattices. CINTI: 2011, IEEE conference, Budapest, Hungary, pp. 373-378. ISBN 978-1—4577-0044-6
- [4] Galicia: Goals and scope, [online]. [cit. 2017-04-01]. Dostupné na internete: <http://www.iro.umontreal.ca/~galicia/goals.html>
- [5] Welcome to the ToscanaJ Suite, [online]. [cit. 2017-04-01]. Dostupné na internete: <http://toscanaj.sourceforge.net/index.html>
- [6] Overview on ConExp, [online]. [cit. 2017-04-01]. Dostupné na internete: <http://conexp.sourceforge.net/users/index.html>
- [7] RStudio Take control of your R code [online]. [cit. 2015-04-08]. <http://www.rstudio.com/products/rstudio/>
- [8] rJava - Low-level R to Java interface [online]. [cit. 2015-04-08] <https://www.rforge.net/rJava/>
- [9] VERBEKE T. : Hello Java World! A Tutorial for Interfacing to Java Archives inside R Packages. 2014 [online]. [cit. 2017-04-15]. Dostupné na internete: <http://cran.r-project.org/web/packages/helloJavaWorld/index.html>
- [10] Jsonlite – R package, <https://cran.r-project.org/web/packages/jsonlite/index.html>
- [11] DiagrammeR – R package, <http://rich-iannone.github.io/DiagrammeR/>
- [12] Writing R Extensions – <https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-release/R-exts.html>

# Interaktívna vizualizácia výsledkov vyhľadávania pomocou formálnej konceptovej analýzy

Veronika NOVOTNÁ, Peter BUTKA

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

veronika.novotna@student.tuke.sk, peter.butka@tuke.sk

**Abstrakt** — Táto práca je venovaná interaktívnej vizualizácii výsledkov vyhľadávania získaných vyhľadávateľom pomocou konceptových zväzov. Tento model patrí do oblasti formálnej konceptovej analýzy a poskytuje štruktúrovanú formu hierarchicky usporiadaných podmnožín skúmaných objektov na základe nimi zdieľaných podmnožín atribútov. Cieľom bolo vytvoriť v programovacom jazyku Java nástroj, v ktorom je realizovaný proces od zadania dopytu, cez vytvorenie konceptového zväzu až po jeho interaktívnu vizualizáciu. V tejto práci je na budovanie hierarchie konceptov použitý model tzv. zovšeobecneného jednostranne fuzzy konceptového zväzu, ktorý umožňuje vytvárať konceptové zväzy na základe vstupných dátových tabuliek obsahujúcich rôzne typy atribútov. Takto vytvorený konceptový zväz sa zobrazuje ako interaktívny graf, na ktorý sa môžu aplikovať redukcie zvyšujúce prehľadnosť výstupnej vizualizácie.

**Kľúčové slová** — vyhľadávanie informácií, formálna konceptová analýza, konceptový zväz, interaktívna vizualizácia

## I. ÚVOD

V rámci vyhľadávania informácií je zaujímavým problémom poskytnúť výsledky vyhľadávania získané z vyhľadávacieho stroja v štruktúrovanej forme, ktorá lepšie zohľadňuje vzťahy medzi výsledkami a poskytuje lepšie pochopenie prehľadavanej domény. Jednou možnosťou ako k tomuto problému pristupovať je použiť metódy z oblasti formálnej konceptovej analýzy (Formal Concept Analysis – FCA) [1]. Cieľom tejto práce je preto využitie konceptuálnych prístupov z oblasti formálnej konceptovej analýzy pre vytvorenie konceptových zväzov, ktoré sú následne použité pre interaktívnu vizualizáciu výsledkov vyhľadávania získaných vyhľadávateľom. Úlohou je vytvoriť aplikáciu umožňujúcu používateľovi zadať dopyt, ktorý je vyhľadaný pomocou vyhľadávateľa Google. Zo získaných výsledkov sa vytvorí interaktívny graf konceptového zväzu.

V klasickom rámci FCA sa pracuje s binárnou vstupnou tabuľkou (objekt má alebo nemá atribút, napríklad dokument obsahuje alebo neobsahuje daný term). V praktickej analýze samozrejme často existuje potreba spracovať rôzne typy atribútov. Aj preto bolo navrhnutých viacero fuzzy prístupov [2][3][4]. Jedným z fuzzy prístupov je aj model tzv. zovšeobecneného jednostranne fuzzy konceptového zväzu (Generalized One-Sided Concept Lattice - GOSCL) [5]. Tento model bol použitý v rámci našej práce, jeho výhodou je možnosť spracovávať vstupné tabuľky s rôznymi typmi atribútov. Naším cieľom teda bolo získať výsledky vyhľadávania, vytvoriť k nim odpovedajúci model typu GOSCL a pripraviť interaktívnu vizualizáciu pre používateľa, aby mohol s týmto výstupným modelom pracovať.

Následujúca kapitola popisuje model GOSCL, ďalej bude popísaný návrh a implementácia nástroja pre vizualizáciu výsledkov vyhľadávania vo forme modelu GOSCL, na záver bude kapitola popisujúca experimenty so systémom.

## II. ZOVŠEOBECNENÝ JEDNOSTRANNE FUZZY KONCEPTOVÝ ZVÄZ

Formálna konceptová analýza (FCA) sa zaoberá konkrétnym druhom exploračnej analýzy dát, ktoré majú v základnej forme podobu tabuľky s riadkami zodpovedajúcimi objektom a stĺpcami zodpovedajúcimi atribútom. Klasický prístup FCA hovorí o tzv. objektovo-atribútom modeli,

ktorý je založený na binárnych reláciách. Takýto prípad označujeme „crisp“. Formálny kontext je v tomto prípade tvorený binárnou reláciou, ktorá môže byť v dátovej tabuľke označená znakom „X“ alebo hodnotami 1 a 0, podľa toho, či objekt má alebo nemá atribút.

Formálne môžeme zapísať formálny kontext ako usporiadanú trojicu  $C=(X,Y,I)$ . Trojica sa skladá zo sady objektov  $X$  a sady atribútov  $Y$  a  $I$  definujúce vzťah medzi  $X$  a  $Y$ . Prvky  $X$  sú definované ako objekty a prvky  $Y$  ako atribúty kontextu.

Pre množiny  $A \subseteq X$  objektov definujeme  $A'$  ako sadu atribútov spoločných objektov množiny  $A$ :

$$A' = \{y \in Y \mid (x, y) \in I \text{ pre všetky } x \in A\} \quad (1)$$

Podobne pre sadu  $B \subseteq Y$  atribútov definujeme  $B'$  ako sadu objektov, ktoré obsahuje množina  $B$ :

$$B' = \{x \in X \mid (x, y) \in I \text{ pre všetky } y \in B\} \quad (2)$$

Formálny koncept kontextu  $(X,Y,I)$  je dvojica  $(A,B)$ , kde  $A \subseteq X$ ,  $B \subseteq Y$ ,  $A' = B$  a  $B' = A$ . Množinu  $A$  nazývame rozsahom (extentom) konceptu  $(A,B)$  a množinu  $B$  významom (intentom) konceptu  $(A,B)$ .  $\beta(X,Y,I)$  označuje množinu všetkých pojmov kontextu  $(X,Y,I)$ .

Ak  $(A_1,B_1)$  a  $(A_2,B_2)$  sú koncepty kontextu, tak  $(A_1,B_1)$  sa nazýva podkoncept  $(A_2,B_2)$ , ak  $A_1 \subseteq A_2$  (čo je ekvivalentné k  $B_2 \subseteq B_1$ ). V tom prípade  $(A_2,B_2)$  je superkonceptom  $(A_1,B_1)$  a zapisujeme:

$$(A_1,B_1) \leq (A_2,B_2) \quad (3)$$

Vzťah  $\leq$  nazývame hierarchické usporiadanie (jednoducho usporiadanie) konceptov. Množina všetkých konceptov  $(X,Y,I)$  usporiadaná týmto spôsobom je označovaná ako  $\beta(X,Y,I)$  a tvorí kompletný zväz, nazývaný *konceptový zväz* kontextu  $(X,Y,I)$ .

Pre zovšeobecnenie tohto prístupu je možné uvažovať rozšírenie tzv. jednostrannou fuzzifikáciou na strane atribútov (existuje možnosť aj duálneho rozšírenia na strane objektov), čo znamená že objekty sú ďalej spracovávané ako "crisp" podmnožiny, avšak atribúty dosahujú hodnoty definované cez fuzzy množiny. Tento prístup zovšeobecnenia produkuje model nazývaný zovšeobecný jednostranne fuzzy konceptový zväz (Generalized One-Sided Concept Lattice - GOSCL), ktorý bol predstavený v [5]. V nasledujúcom popise je trochu upravený pohľad na vstupný formálny kontext, kde  $B$  sa používa pre množinu objektov a  $A$  označuje ako množinu atribútov.

Usporiadaná štvorica  $c = (B,A,L,R)$  sa nazýva *zovšeobecný jednostranný formálny kontext* ak sú splnené nasledujúce podmienky:

1.  $B$  je neprázdna množina objektov a  $A$  je neprázdna množina atribútov.
2.  $L: A \rightarrow CL$  je zobrazenie z množiny atribútov do triedy všetkých kompletných zväzov  $CL$ . Potom, pre každý atribút  $a$ ,  $L(a)$  predstavuje štruktúru pravdivostných hodnôt atribútu  $a$ .
3.  $R$  je zovšeobecnená incidenčná relácia, t.j.,  $R(b,a) \in L(a)$  pre všetky  $b \in B$  a  $a \in A$ . Preto,  $R(b,a)$  reprezentuje stupeň z  $L(a)$  ktorý má objekt  $b \in B$  v atribúte  $a$ .

Relácia  $R$  reprezentuje tabuľku dát pre analýzu. Hlavný rozdiel oproti predchádzajúcim prístupom je v možnosti vytvárať konceptový zväz z tabuliek obsahujúcich atribúty rôzneho typu, t.j. s rôznymi štruktúrami pravdivostných hodnôt.

Ak  $(B,A,L,R)$  je zovšeobecný jednostranný formálny kontext, potom môžeme definovať dvojicu zobrazení  $\uparrow: 2^B \rightarrow \prod_{a \in A} L(a)$  and  $\downarrow: \prod_{a \in A} L(a) \rightarrow 2^B$  takto:

$$\uparrow(X)(a) = \inf_{b \in X} (R(b,a)) \quad (4)$$

$$\downarrow(g) = \{ b \in B : \forall a \in A, g(a) \leq R(b,a) \} \quad (5)$$

Pár zobrazení  $(\uparrow, \downarrow)$  tvorí Galoisovu konexiu medzi  $2^B$  and  $\prod_{a \in A} L(a)$ . Potom máme  $C(B,A,L,R)$  ako množinu všetkých dvojíc  $(X,g)$ , kde  $X \subseteq B$ ,  $g \in \prod_{a \in A} L(a)$ , spĺňajúcich  $\uparrow(X) = g$  a  $\downarrow(g) = X$ . Množina  $X$  je potom označená *extent* a  $g$  *intent* konceptu  $(X,g)$ . Ak dodefinujeme čiastočné usporiadanie na  $C(B,A,L,R)$  ako  $(X_1,g_1) \leq (X_2,g_2)$  iff  $X_1 \subseteq X_2$  iff  $g_1 \geq g_2$ , potom  $C(B,A,L,R)$  spolu s týmto usporiadaním tvorí kompletný zväz, ktorý nazývame *zovšeobecný jednostranne fuzzy konceptový zväz*.

Následne môžeme definovať inkrementálny algoritmus pre vytvorenie GOSCL, t.j. vstupom je kontext definovaný  $(B,A,L,R)$ . Pre  $b \in B$  je  $R(b)$  element zo súčiny zväzov  $\prod_{a \in A} L(a)$  taký že  $R(b)(a) = R(b,a)$ , t.j.,  $R(b)$  je  $b$ -tý riadok tabuľky dát  $R$ . Nech  $1_L$  definuje najväčší element z  $L = \prod_{a \in A} L(a)$ , t.j.,  $1_L(a) = 1_{L(a)}$  pre všetky  $a \in A$ . Potom pseudokód algoritmu pre tvorbu GOSCL je uvedený nižšie. Praktické príklady na rôznych dátach je možné nájsť v [5], resp. [6] (kde sú uvedené aj niektoré implementačné detaily).



### Algoritmus (Generalized One-Sided Concept Lattice)

Input:  $(B, A, L, R)$  – zovšeobecnený jednostranný formálny kontext

begin

create lattice  $L := \prod_{a \in A} L(a)$

$C := \{1_L\}, C \subseteq L$  (množina všetkých intentov)

while  $(B \neq \emptyset)$

{

choose  $b \in B$

$C^* := C$

for each  $c \in C^*$

$C := C \cup \{c \wedge R(b)\}$

$B := B \setminus \{b\}$

}

$C(B, A, L, R) := \emptyset$

for each  $c \in C$

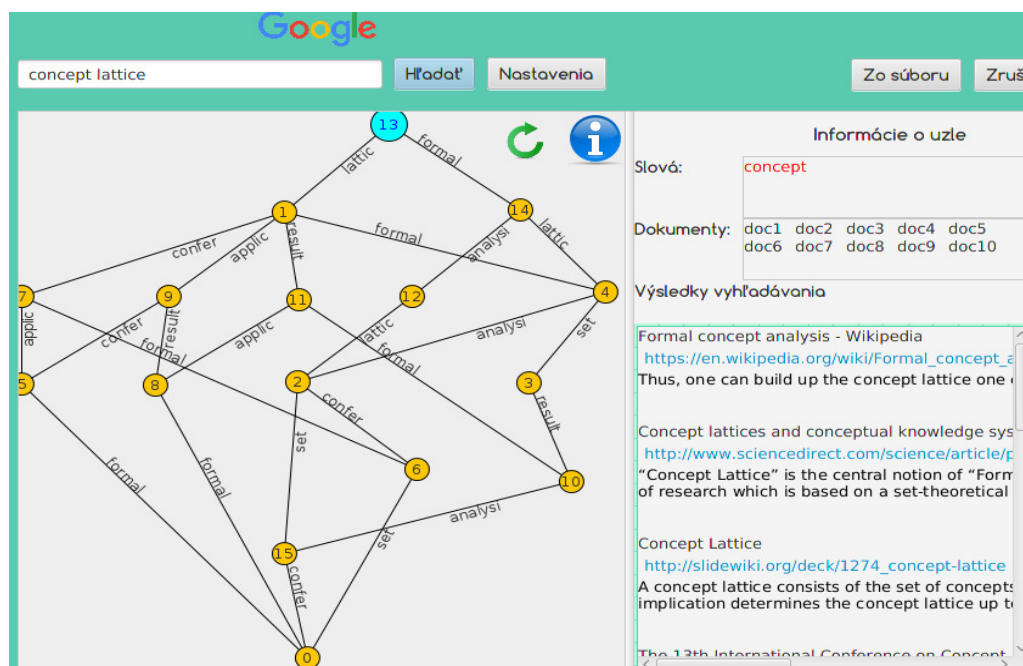
$C(B, A, L, R) := C(B, A, L, R) \cup \{(\downarrow(c), c)\}$

end

Output:  $C(B, A, L, R)$  – množina všetkých konceptov

### III. NÁVRH A IMPLEMENTÁCIA NÁSTROJA

Základom navrhnutého systému je používateľské rozhranie podobné prehliadaču, ktorého úlohou je poskytnúť používateľovi možnosť voľby ako by mal konceptový zväz vyzerat'. Na začiatku používateľ zadá do políčka dopyt, ktorý reprezentuje jeho informačnú potrebu. Tento dopyt je spracovaný webovým vyhľadávačom Google. Následne prostredníctvom programového rozhrania Google API sa konkrétne výsledky zobrazia v JSON formáte, ktorého obsahom sú základné informácie o výsledkoch. K týmto informáciám patrí napríklad názov stránky, URL adresa, popis stránky a iné. Rozhodli sme sa pracovať len s krátkym popisom stránky (tzv. snippet). Slová v úryvku vchádzajú do fázy predspracovania textových dokumentov, tak aby boli použiteľné pre algoritmus vytvorenia zovšeobecnených jednostranných konceptových zväzov. Následne sa vytvorí kontext, teda tabuľka pozostávajúca z riadkov, ktoré predstavujú dokumenty (stránky) a stĺpcov predstavujúce termy (slová z popisu stránky). Naše riešenie ponúka dva typy kontextov, z ktorých si používateľ môže vybrať a na základe zvoleného sa vybuduje konceptový zväz. Prvým je binárny kontext, v ktorom konkrétne záznamy obsahujú hodnoty 0 a 1. Druhým typom je fuzzy kontext, ktorý neposkytuje len informáciu o tom, či sa slovo v dokumente nachádza, ale zohľadňuje frekvenciu (početnosť) slova v danom dokumente. Na základe kontextu sa prostredníctvom GOSCL vytvoria jednotlivé koncepty, ich vzájomné prepojenie, vytvorenie konceptového zväzu. Nakoniec je v rozhraní poskytnutá vizualizácia tohto zväzu pomocou knižnice JUNG.



Obr. 1 Príklad rozhrania aplikácie.

Na základe architektúry sme načrtli používateľské rozhranie (viď. príklad výstupu aplikácie na Obr.1) rozdelené do logických častí opísaných v nasledujúcich bodoch:

- Časť zadania dopytu a nastavení - táto časť je zodpovedná za vyhľadanie výsledkov zodpovedajúcich k danému dopytu, ktorý zadá používateľ do ľavého políčka. Nachádza sa v hornej časti aplikácie. Napravo od políčka je tlačidlo Hľadať a po jeho stlačení sa spustí v pozadí proces od vyhľadania výsledkov až po zobrazenie konceptového zväzu. Okrem toho poskytuje táto časť aj priestor pre nastavenia parametrov systému, či načítanie výsledkov zo súboru.
- Vizualizačná plocha – umožňuje interaktívnu prácu s grafom konceptového zväzu, nachádza sa v ľavej časti aplikácie. Pri zmene akýchkoľvek nastavení sa na ploche vygeneruje nový konceptový zväz.
- Informačná časť – k aktuálnemu konceptovému zväzu táto pravá časť aplikácie zobrazí informácie o všetkých získaných dokumentoch, ktorými sú zoznam slov vyskytujúcich sa v dokumentoch, zoznam jednotlivých dokumentov, zároveň aj ich príslušné stránky a zoznam kľúčových slov. Ak vo vizualizačnej ploche používateľ klikne na uzol v grafe, zobrazia sa príslušné informácie o uzle (koncepte). Informácie zahŕňajú zoznam slov a dokumentov, z ktorých je daný koncept vytvorený.

Tlačidlo Nastavenia zobrazí okno pre nastavenie týkajúce sa 3 oblastí parametrov:

- Vlastnosti vstupného kontextu – ide o redukciu vstupnej dátovej tabuľky pred vytvorením konceptového zväzu. Používateľ si tu môže zvoliť počet výsledkov, atribútov a iné.
- Vlastnosti IR modelu - výber typu kontextu: boolovský model, ktorý predstavuje binárny kontext a vektorový model vyjadrujúci fuzzy kontext.
- Vlastnosti konceptového zväzu - operácie vykonané po vytvorení zväzu, ako napríklad orezanie niektorých uzlov (redukcie).

Proces vytvorenia výstupu pozostáva zo 6 hlavných krokov:

1. Získanie výsledkov z vyhľadávača – po zadaní dopytu, systém použije GoogleSearch API pre získanie množiny výsledkov, je možné zvoliť počet výsledkov do vizualizácie, výstup je uložený v JSON formáte.
2. Spracovanie výsledkov vyhľadávania – na základe nastavených parametrov sa predspracujú výsledky, t.j., snippet je predspracovaný ako textový vstup (tokenizácia, transformácia na malé písmená, odstránenie stop slov).
3. Vytvorenie vstupného kontextu – na základe výskytu termov je vytvorený formálny kontext, pričom tento môže byť binárny (0/1 ak sa term vyskytol /nevyskytol), alebo vektorový (fuzzy) (0 nevyskytol, inak frekvencia termu).
4. Vytvorenie konceptového zväzu – algoritmus pre tvorbu GOSCL vytvorí výstupný model pre ľubovoľný kontext.
5. Redukcia výstupu – pre zlepšenie prehľadnosti a lepšiu interpretáciu sa často môže používateľ zvoliť redukciu, v našom prípade dve redukcie: orezanie konceptu s počtom objektov 0, alebo odstrániť koncepty s malou podporou (ponecháme len koncepty obsahujúce aspoň prahový počet objektov).

Vizualizácia konceptového zväzu – výstupný graf zväzu, vytvorený s pomocou rámca JUNG [7], je poskytnutý používateľovi.

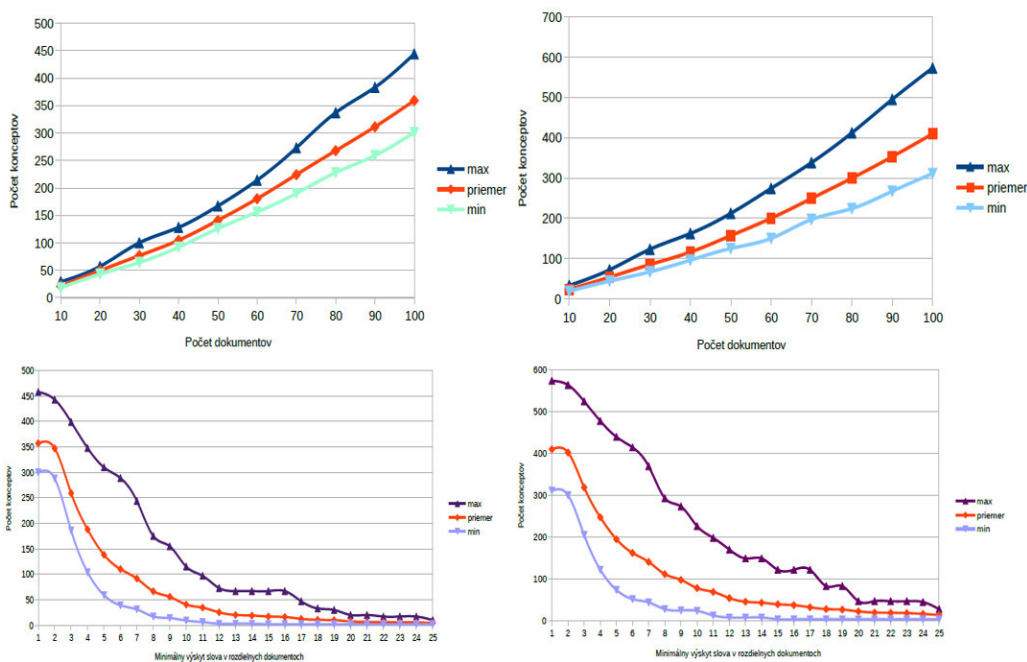
#### IV. EXPERIMENTY

Experimenty boli vyhotovené na sade desiatich rôznych dopytov. Nakoľko Google umožňuje len 100 vyhľadávaní za deň, kde na jedno vyhľadanie bolo možné stiahnuť 10 dokumentov, mohli vyhľadať celkovo 100 dokumentov na dopyt, t.j. 1000 dokumentov v súčte. Táto množina výsledkov bola použitá pre všetky nasledujúce analýzy. Pri analýzach zaoberajúcich sa závislosťami od počtu dokumentov sme zvolili za počiatočnú hodnotu 10 dokumentov, maximálnu hodnotu 100 s krokom 10. Pri závislostiach, ktoré nevychádzali z počtu dokumentov sme vykonali analýzu nad 100 výsledkami.

Pre všetky merania okrem časových sme z dopytov vytvorili tri krivky znázorňujúce minimum, maximum a priemer hodnôt pre dané meranie. Na analýzu výsledkov sme vychádzali z priemerných hodnôt.

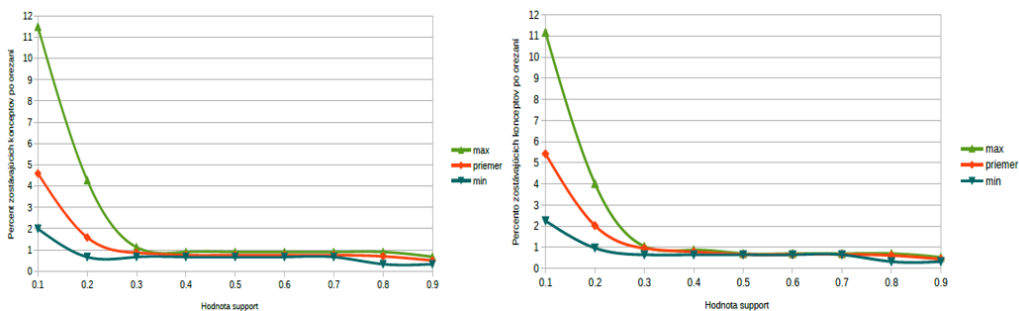
Prvé meranie popisuje závislosť medzi počtom vyhľadávaných výsledkov a počtom vytvorených konceptov. Vykonali sme dve samostatné merania s rovnakými hodnotami nastavení líšiace sa v použítom type kontextu. Meranie prebiehalo pri nasledujúcich nastaveniach. Minimálny počet výskytu slova v rozdielnych dokumentoch s hodnotou 1 a bez redukcií konceptového zväzu.

Ako je možné vidieť na grafoch v rámci Obr.2 (hore-vľavo pre binárny kontext, hore-vpravo pre fuzzy kontext), počet konceptov rastie približne lineárne s počtom dokumentov. Fuzzy konceptový zväz vytvára stále viac konceptov ako binárny konceptový zväz. Pre 100 výsledkov je počet konceptov pre fuzzy v priemere o 50 viac. Nasledujúce meranie popisuje závislosť počtu vytvorených konceptov vo fáze redukcie vstupných dát, a to zmenou hodnoty minimálneho počtu výskytu slova v rozdielnych dokumentoch. Rovnako aj v tomto meraní sme rozlišovali typy kontextov. Pre meranie bolo použitých 100 výsledkov bez redukcii konceptových zväzov. Nasledujúce grafy (viď. Obr.1, vľavo-dole pre binárny kontext, vpravo-dole pre fuzzy kontext) znázorňujú klesanie počtu konceptov s narastajúcim počtom atribútov. Klesanie je v priemere zo začiatku prudké až do hodnoty okolo 6 atribútov, potom sa klesanie spomalí. Rozdiel medzi krivkami pri hodnote atribútu 5 je 50, pri 15 je to už len 20 konceptov.



Obr. 2 Experimenty – závislosti počtu konceptov od počtu dokumentov a redukcie termov pred spustením tvorby konceptového zväzu (podrobnejšie viď. hlavný text).

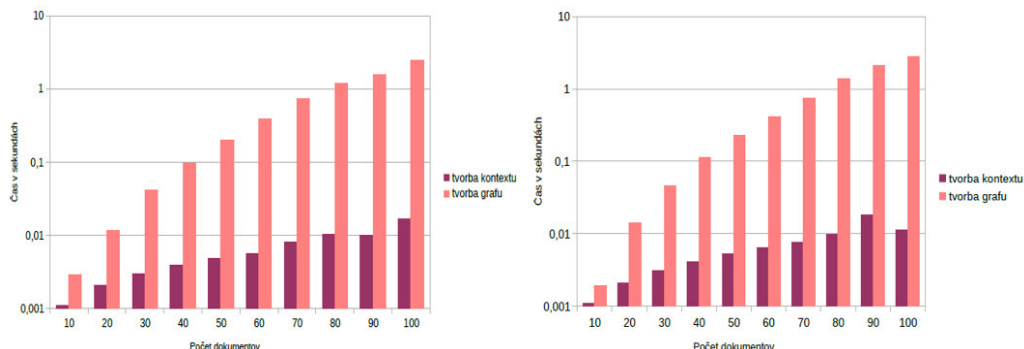
Ďalšia časť merania sa zaoberala vplyvom redukcie funkciou support (podpora) na počet konceptov vo fáze redukcie konceptového zväzu. Meranie znázorňuje percento neorezaných konceptov pre oba typy konceptových zväzov. Pri meraní sme použili 100 výsledkov bez redukcie vstupných dát, t.j. minimálny počet výskytu slova v rozdielnych dokumentoch nastavením na hodnotu 1. Ako môžeme vidieť na Obr.3 (vľavo pre binárny kontext, vpravo pre fuzzy kontext), hodnota support veľmi výrazne redukuje počet konceptov. Už pri najnižšej testovanej hodnote 0.1 support zostane z konceptového zväzu v priemere len 5% až 6%. Pri hodnote 0.3 je pre binárny a fuzzy prakticky už len 1% neorezaných konceptov, to platí bez ohľadu na zvolený dopyt.



Obr. 3 Experimenty – závislosti počtu konceptov od použitej podpory pre redukciu (vľavo – pre binárny kontext, vpravo – pre fuzzy kontext).

Nasledujúce analýzy sa venovali časovej náročnosti aplikácie v dvoch častiach, ktoré sú tvorba kontextu a tvorba grafu. Pre potreby merania sme hodnotu support nastavili na 0,5, čo spôsobí orezanie veľkého počtu konceptov. Konceptový zväz bol vytvorený zo 100 výsledkov, pričom

nebola použitá žiadna redukcia vstupných dát. Pri meraní času môžeme z grafov na Obr.4 usúdiť, že časový rozdiel medzi binárnym a fuzzy konceptovým zväzom je vzhľadom na použitie krátkych textov zanedbateľný (nie je potrebné pri fuzzy kontexte pracovať s výrazne viac odlišným počtom hodnôt atribútov, čo zabezpečí že zvýšenie času je minimálne). Zároveň je možné vidieť, že proces tvorby grafu je výrazne dlhší ako tvorba kontextu. Pre 100 vyhľadaných dokumentov tvorba grafu trvá približne stokrát dlhšie.



Obr. 4 Experimenty – závislosti času výpočtu vybraných krokov od počtu analyzovaných výsledkov (vľavo – pre binárny kontext, vpravo – pre fuzzy kontext).

Meraním sme zistili, že počet konceptov vo vysokej miere závisí od počtu výsledkov. To platí pre vytvorenie konceptového zväzu bez použitia redukcii. Experimentovaním sme zistili, že v takomto prípade má zmysel konceptový zväz len pri 10-15 dokumentoch. Ak berieme do úvahy redukciu konceptového zväzu pomocou support s ľubovoľným počtom dokumentov, výsledný počet konceptov závisí od nastavenia hodnoty supportu. Pri použití redukcie je rozumný výstup dosiahnutý už pri podpore 0.2 aj pre 100 vstupných dokumentov. Pre menšie množiny výsledkov (medzi 20 až 50, v závislosti od redukcie), je čas spracovania dostatočne krátky pre používanie aplikácie (pod pol sekundy).

## V. ZÁVER

Cieľom tohto príspevku bolo popísať implementovaný systém pre interaktívnu vizualizáciu výsledkov vyhľadávania vo forme konceptového zväzu. Tento poskytuje štruktúrovanú formu hierarchicky usporiadaných podmnožín vrátených dokumentov na základe metódy známej ako FCA (Formal Concept Analysis). Vytvorený nástroj umožňuje zvoliť dopyt a získať hierarchickú štruktúru zhlukov vrátených výsledkov na základe analýzy obsahu ich krátkych popisov – tzv. snippetov. Takto vytvorený konceptový zväz sa zobrazuje ako interaktívny graf, na ktorý je následne možné aplikovať redukcie zvyšujúce prehľadnosť výstupnej vizualizácie. Okrem popisu systému / nástroja boli realizované a popísané aj experimenty pre zvolenú množinu dopytov a rôzne nastavenia parametrov. V budúcnosti by sme radi systém otestovali aj na štruktúrovanejších vstupných množinách dát, ktoré prirodzene obsahujú viacero rôznych typov (aj komplexných) atribútov.

## POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt "Centrum informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy" (kód ITMS:26220120020), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## REFERENCIE

- [1] B. Ganter, G. Stumme, R. Wille, Formal Concept Analysis. Foundations and Applications. Berlin, Germany, 2005.
- [2] R. Belohlavek. Lattices of Fixed Points of Fuzzy Galois Connections. Math. Log. Quart. 47(1), 111–116, 2001.
- [3] J. Medina, M. Ojeda-Aciego, J. Ruiz-Calvino. Formal concept analysis via multi-adjoint concept lattices. Fuzzy Set. Syst. 160, 130–144, 2009.
- [4] J. Pocs. Note on generating fuzzy concept lattices via Galois connections. Inform. Sci. 185(1), 128–136, 2012.
- [5] P. Butka, J. Pócs, Generalization of one-sided concept lattices, Computing and Informatics, 32(2), 355-370, 2013.
- [6] P. Butka, J. Pócs, J. Pócs, Design and implementation of incremental algorithm for creation of generalised one-sided concept lattices, CINTI 2011, IEEE conference, Budapest, Hungary, 373-378, 2011.
- [7] JUNG – Java Universal Network/Graph Framework, <http://jung.sourceforge.net/>

# Návrh a implementácia balíka v R pre podporu riešenia vybraných úloh z oblasti rozvrhovania

*Yuliia MYSHUN, Peter BUTKA*

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

yuliia.myshun@student.tuke.sk, peter.butka@tuke.sk

**Abstrakt** — V rámci tejto práce bol vytvorený balík v jazyku R pre riešenie vybraných úloh z oblasti rozvrhovania. Aj keď hlavným cieľom vytvoreného balíka je podpora výučby vybraných metód z oblasti rozvrhovania, jeho použiteľnosť je širšia a umožňuje aplikovať implementované algoritmy postupy aj v praktických aplikáciách. Medzi vybrané úlohy, ktoré balík rieši, patria rôzne algoritmy rozvrhovania, napríklad heuristické metódy rozvrhovania na paralelných procesoroch, rozvrh jednostupňovej výroby s prerušením, ohodnocovanie rozvrhov, či špeciálne prípady pre problémov flow shop a job shop. Z pohľadu výučbového procesu bol balík testovaný a vyhodnotený aplikovaním na predmete, ktorý sa danej problematike venuje.

**Kľúčové slová** — rozvrhovanie, jazyk R, balík R, optimalizácia, nástroje pre podporu výučby

## I. ÚVOD

Hlavnou úlohou rozvrhovania je zostrojenie optimálneho rozvrhu, podľa definovaných hodnôt, kritérií a údajov. Praktické využitie postupov a metód z tejto oblasti má nepochybne dôležité miesto v najrôznejších oblastiach ekonómie, techniky, vedy ale aj v reálnom živote, v ktorom neustále vznikajú úlohy typu, ktorú aktivitu kedy, kde a ako vykonať. Hlavnou úlohou tejto práce bolo vytvorenie balíka v R pre riešenie vybraných úloh rozvrhovania, primárne s aplikáciou vo výučbovom procese predmetu Rozvrhovanie a logistika, alebo príbuzných predmetov. Hlavným cieľom balíka ako podporného výučbového nástroja je pomôcť študentom precvičiť si a pochopiť úlohy, následne zapísať úlohy do matematického modelu a pomocou programu R efektívnejšie a rýchlejšie vypočítať optimálny rozvrh.

Naším cieľom teda bolo vytvoriť balík Rozvrhovanie, ktorý by obsahoval jednotlivé funkcie na výpočet vybraných úloh z oblasti rozvrhovania (aj so všeobecnejšou platnosťou). Okrem toho bol vytvorený aj webový portál na báze Rshiny, na ktorom by sa nachádzali ukážkové riešené príklady a dodatočné materiály slúžiace k porozumeniu učiva pri použití v rámci výučby. Následne bol tento balík vyhodnotený v rámci výučby predmetu, zo získanej spätnej väzby bude možné balík doplniť o ďalšie funkcionality, alebo upraviť niektoré chyby implementácie či rozhrania.

V nasledujúcej kapitole uvedieme stručný prehľad analyzovaných a implementovaných úloh z oblasti rozvrhovania, potom popíšeme implementáciu samotného balíka a jednotlivé funkcie. Na záver popíšeme vyhodnotenie balíka a získanú spätnú väzbu z procesu testovania.

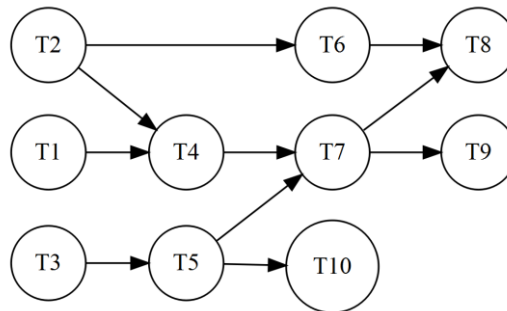
## II. PREHLAD VYBRANÝCH ÚLOH LOGISTIKY PRE IMPLEMENTÁCIU BALÍKA

Rozvrhovanie je postup vytvárania rozvrhu. Pritom nás okrem postupnosti úloh zaujíma aj ich umiestenie v čase a na jednotlivé stroje/procesory. Cieľom je nájsť (optimálny) rozvrh pri dodržaní daných ohraničení. Rozvrh je súbor údajov, z ktorého je zrejmé, v ktorých časových intervaloch sa majú úlohy a operácie realizovať. Charakteristické prvky rozvrhovania sú paralelizmus (často je k dispozícii viac strojov a naraz môžeme vykonať viac úloh), trvanie akcií, precedenčné ohraničenia (niektoré úlohy musia predbiehať iné), implicitné ohraničenia (napr. fakt že na jednom stroji v jednom okamžiku môžeme prevádzkovať iba jednu úlohu), obmedzené zdroje (ohraničený počet strojov, surovín a pod.), špecializované prostriedky (niektoré úlohy môžu byť vykonané iba na určenom stroji), časy medzi akciami (niektoré úlohy začínajú až s konkrétnym časovým odstupom po skončení predchádzajúcich úloh).

Pri jednotlivých vybraných úlohách, ktoré si teraz popíšeme, sa budeme pre zjednodušenie držať notácie a popisu podľa učebnice J.Paraliča [1].

### Precedenčný graf

Jednou z užitočných vizualizácií v rozvrhovaní je použitie zadaných precedenčných ohraničení na vytvorenie tzv. precedenčného grafu. Úlohy sú reprezentované uzlami v grafe. Precedencie sú v ňom reprezentované orientovanými hranami. Graf konštruujeme postupne, pričom si uzly rozdelíme na vstupné, výstupné a medziľahlé. Precedenčný graf je vhodný aj ako vstup pre prípravu rozvrhu, nakoľko umožňuje prehľadne pochopiť nutné nadväznosti úloh. Príklad zadania precedenčných ohraničení môže byť ako množina  $\{T1 < T4, T2 < T4, T2 < T6, T3 < T5, T4 < T7, T5 < T7, T5 < T10, T6 < T8, T7 < T8, T7 < T9\}$ , kde symbol  $<$  znamená že úloha pred ním musí byť ukončená skôr, ako sa začne úloha uvedená za symbolom. Príklad výstupu precedenčného grafu k daným ohraničeniam môžeme vidieť na Obr.1.



Obr. 1 Príklad precedenčného grafu.

### Kriteriálne funkcie

Ďalšou užitočnou pomocnou funkciou v rozvrhovaní je možnosť porovnať rozvrhy podľa zvolených kritérií. Najznámejšie kritériálne funkcie sú niektorého z nasledujúcich troch typov:

1. Suma hodnôt zvolenej funkcie nákladov – napríklad suma časov ukončenia všetkých úloh ( $C$  – completion time), suma oneskorení úloh ( $L$  – lateness time), suma dĺžok spracovania ( $F$  – flow time), suma počtov omeškaných úloh, atď.
2. Maximálna hodnota zvolenej funkcie nákladov – ako v 1, avšak výstupná hodnota je maximálna hodnota spomedzi všetkých úloh v rozvrhu.
3. Priemerná hodnota zvolenej funkcie nákladov – ako v 1, avšak výstupná hodnota je oproti sume aritmetický priemer cez počet úloh.

### Jacksonov algoritmus

V tomto prípade ide o rozvrhovanie jednostupňovej výroby (na jednom procesore), pričom existuje možnosť prerušenia úloh počas ich spracovania. Potom úloha rozvrhovania na jednom procesore v zmysle kritéria  $L_{max}$  je riešiteľná veľmi efektívne Jacksonovým algoritmom. Pre riešenie tohto typu úloh, potrebujeme mať zadané časy trvania úloh  $t_i$ , časy pripravenosti  $r_i$  a časy ukončenia  $d_i$ . Algoritmus funguje nasledovne:

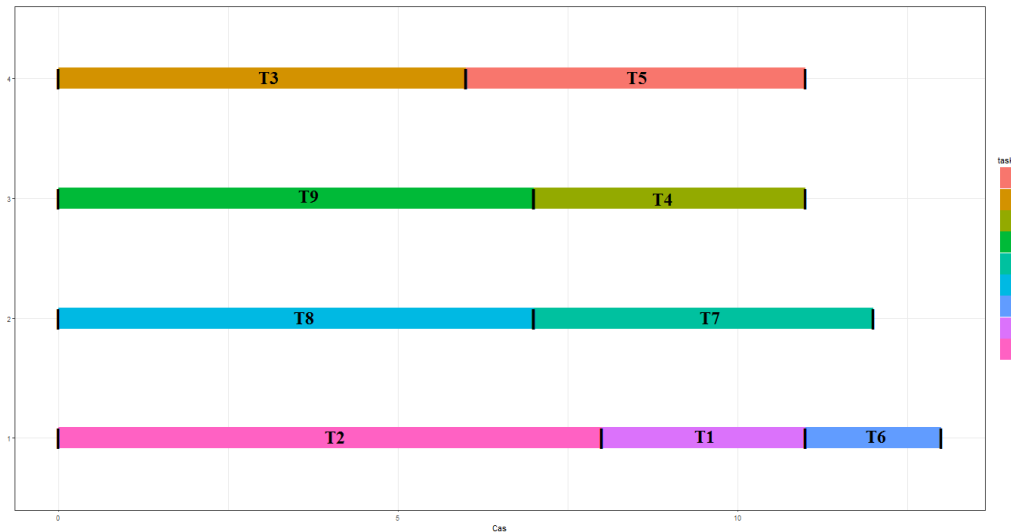
1. Vždy aktivuj úlohu s najskoršou dobou ukončenia.
2. Akonáhle je úloha  $t_i$  pripravená (príde čas zodpovedajúci  $r_i$ ) a procesor je obsadený úlohou  $t_j$ , pozastav úlohu  $t_j$  v prospech úlohy  $t_i$  práve vtedy, ak čas ukončenia  $i$ -tej úlohy ( $d_i$ ) je skorší ako čas ukončenia  $j$ -tej úlohy, inak ponechaj bežať úlohu  $t_j$ .
3. Pokračuj krokom 1, kým nie sú dokončené všetky úlohy.

### Heuristiky pre rozvrhovanie na paralelných procesoroch

Pri rozvrhovaní na viacerých paralelných procesoroch bez prerušenia je možné použiť jednoduché heuristiky, vychádzajúce z nejakého usporiadania úloh. Úlohy sa najprv usporiadajú podľa vybranej heuristiky, potom sa priradujú zaradom, vždy na ten procesor, ktorý sa najskôr uvoľní. Nasledujúce heuristiky môžeme využiť pri rozvrhovaní úloh na viacerých paralelných procesoroch:

- LPT (Longest Processing Time) – uprednostňuje úlohy s najdlhším trvaním  $t_i$
- SPT (Short Processing Time) – uprednostňuje úlohy s najkratším trvaním  $t_i$
- EST (Earliest Starting Time) – uprednostňuje úlohy s najskorším časom začiatku  $r_i$
- LST (Latest Starting Time) – uprednostňuje úlohy s najneskorším časom začiatku  $r_i$
- EFT (Earliest Finishing Time) – uprednostňuje úlohy s najskorším časom ukončenia  $d_i$
- LFT (Latest Finishing Time) – uprednostňuje úlohy s najneskorším časom ukončenia  $d_i$

Príklad aplikácie heuristiky (a zobrazenia rozvrhu v tzv. Ganttovom diagrame) môžeme dokumentovať na jednoduchšej úlohe. Majme zadaných 9 úloh (T1 – T9), ktoré potrebujeme rozvrhnúť na 4 paralelné procesory a dĺžky trvania úloh sú  $t_i = [3, 8, 6, 4, 5, 2, 5, 7, 7]$ . Úlohy zoradíme podľa vybranej heuristiky (napr. LPT) a na základe toho, môžeme zostrojiť rozvrh (viď. Obr. 2).



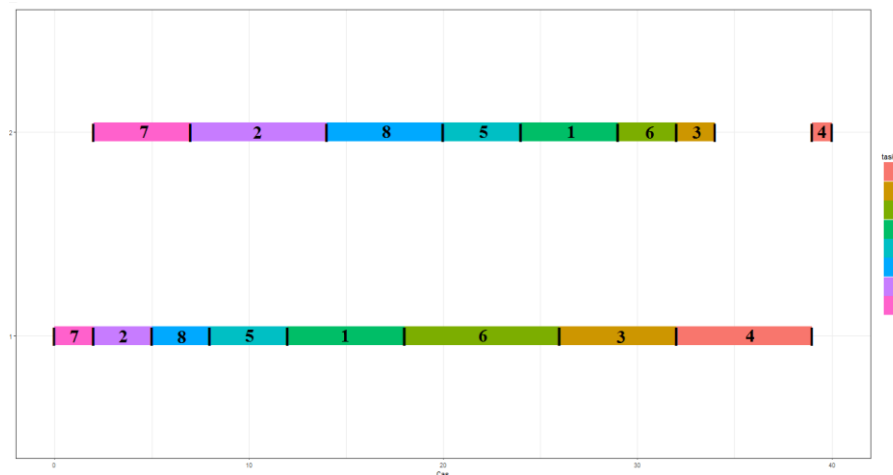
Obr. 2 Príklad rozvrhu vytvoreného pomocou heuristiky LPT.

#### Johnsonov algoritmus – flow shop na dvoch dedikovaných procesoroch

Systémy flow shop sú systémy rozvrhovania operácií na sériovo radených obslužných objektoch s rovnakým poradím operácií s cieľom minimalizovať hodnotu nákladovej funkcie  $f$ . Znamená to, že operácie  $o_{1j}$  budú spracované na obslužnom zariadení M1, operácie  $o_{2j}$  na obslužnom zariadení M2, všeobecne bude  $j$ -tá operácia ( $j = 1, 2, \dots, n$ )  $o_{ij}$  spracovaná na  $i$ -tom obslužnom objekte ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) s cieľom minimalizovať hodnotu vybraného kritéria optimálnosti. Na riešenie problémov typu flow shop sa často používajú rôzne špecializované algoritmy. Pre náš balík sme zvolili tzv. Johnsonov algoritmus na riešenie úlohy typu flow shop na 2 špecializovaných (dedikovaných) procesoroch pre ľubovoľný počet zákaziek, t.j., každá zákazka  $J_j$  je zložená z dvoch úloh, prvá úloha musí byť vykonaná na prvom procesore a trvá  $t_{1i}$ , druhá úloha zase na druhom procesore v trvaní  $t_{2i}$ . Algoritmus funguje nasledovne:

1. Z množiny všetkých zákaziek  $J = \{J_1, \dots, J_n\}$  vytvoríme dva zoznamy:  $L_1 = \{J_i \mid t_{1i} \leq t_{2i}\}$  a  $L_2 = J - L_1$
2. Zoznam  $L_1$  usporiadame podľa neklesajúcich procesných časov  $t_{1i}$  a zoznam  $L_2$  podľa nerastúcich časov  $t_{2i}$
3. Optimálny rozvrh v zmysle kritéria  $C_{max}$  je tvorený zretazením zoznamov  $L_1$  a  $L_2$ .

Na Obr.3. je príklad takéhoto vytvoreného rozvrhu, kde môžeme vidieť, že ak zákazka č.4 ešte neskončila na prvom procesore, musí počkať jej začiatok na druhom procesore (nakolko operácie jednej zákazky musia nasledovať za sebou – princíp flow shopu).



Obr. 3 Príklad rozvrhu vytvoreného pre úlohu flow shopu na 2 procesoroch (Johnsonov algoritmus).

### Špeciálny prípad úlohy job shop pre 2 zákazky – grafické riešenie

Job shop predstavuje najzložitejšie rozvrhacie úlohy. Počet úloh v jednotlivých zákazkách sa môže odlišovať, poradie úloh v rámci zákaziek je dané, ale rôzne pre jednotlivé zákazky. Existujú špeciálne prípady riešenia zjednodušených prípadov, jeden z nich je úloha job shop s dvoma zákazkami, pri ľubovoľnom počte úloh v zákazkách. Táto úloha sa dá riešiť graficky, pričom postup je nasledovný:

1. Na vodorovnú os vynesieme časy spracovania úloh v rámci prvej zákazky v predpísanom poradí podľa jednotlivých procesorov.
2. Na zvislú os vynesieme časy spracovania úloh v rámci druhej zákazky v predpísanom poradí podľa jednotlivých procesorov.
3. Vyšrafujeme tzv. „zakázané oblasti“, t.j. oblasti v ktorých na vodorovnej aj zvislej osi patria tomu istému procesoru.
4. Rozvrh zázorňujeme tzv. „pracovnou čiarou“ . ide o lomenú čiaru pozostávajúcu z troch typov úsekov:
  - Úseky pod 45° uhlom zodpovedajú paralelnému spracovávaniu oboch úloh
  - Vodorovný úsek zodpovedá spracovávaniu prvej zákazky, zatiaľ čo druhá čaká na uvoľnenie procesora.
  - Zvislý úsek znamená spracovanie druhej zákazky, zatiaľ čo prvá čaká na uvoľnenie procesora.
5. Najkratšia pracovná čiara potom zodpovedá optimálnemu rozvrhu.

### III. NÁVRH A IMPLEMENTÁCIA FUNKCIÍ BALÍKA LOGISTIKA

Pri vytváraní balíka sme postupovali v zmysle metodiky pre vytváranie rozšírení v R [2]. Pre praktickú implementáciu sme využili možnosti ďalších balíkov pre efektívnejšie zobrazovanie grafických výstupov balíka pre vybrané úlohy, ako DiagrammeR [3], Rgraphviz [4], ggplot2 [5], či gridExtra [6]. Okrem toho boli použité aj ďalšie pomocné balíky pre prácu s vnútornou reprezentáciou rozvrhov a ich optimalizáciou, ako data.table [7] a reshape2 [8].

Balík primárne pozostáva z jednotlivých funkcií riešiacich vybrané úlohy rozvrhovania. Tieto si teraz stručne popíšeme.

Pre implementáciu funkcie zobrazenia precedenčného grafu boli potrebné knižnice DiagrammeR a Rgraphviz. Volanie uvedenej funkcie vyzerá nasledovne: *prec(edges)*, a obsahuje jediný vstupný parameter:

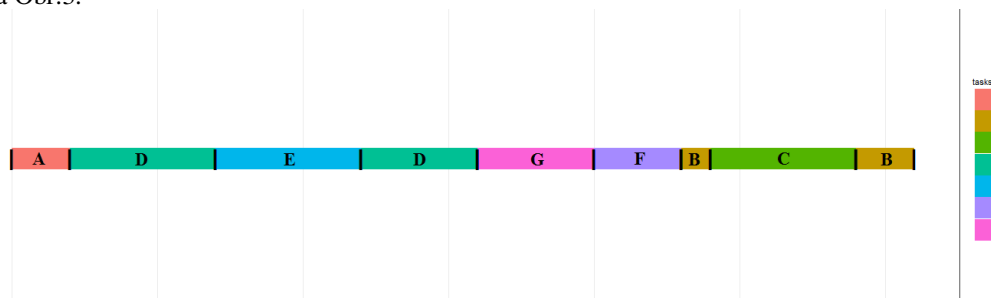
- edges – precedencie. Príklad zadania precedencií (rovnakého príkladu ako v kap. II):  
`edges=c('T1->T4','T2->T4','T2->T6','T3->T5','T4->T7','T5->T7','T5->T10','T6->T8','T7->T8','T7->T9')`

Príklad výstupu funkcie (aj konkrétne pre daný príklad) bol už prezentovaný na Obr.1.

Pre implementáciu Jacksonovho algoritmu bolo potrebné nainštalovať ďalšie knižnice reshape2 a ggplot2. Volanie uvedenej funkcie vyzerá nasledovne: *jackson(names,r,t,d)*, a obsahuje štyri vstupné parametre:

- names – názvy úloh, príklad zadávania: `names = c('a','b','c','d','e','f','g')`
- R - začiatky úloh, príklad zadávania: `r=c(0,20,24,0,7,20,13)`
- t - trvania úloh. Príklad zadávania: `t=c(2,3,5,9,5,3,4)`
- d - ukončenia úloh. Príklad zadávania: `d=c(6,57,42,15,12,40,27)`

Spustenie tejto implementácie volaním funkcie *jackson* vytvorí rozvrh na jednom procesore s prerušením úloh. Príklad výstupu (k zadaniu popísanému v príkladoch zadania parametrov) je na Obr.3.



Obr. 4 Príklad rozvrhu vytvoreného pomocou Jacksonovho algoritmu.

Pre implementáciu heuristickej funkcie tvorby rozvrhu na paralelných procesoroch boli použité knižnice reshape2 a ggplot2. Rozvrhovanie na viacerých paralelných procesoroch (strojoch) s uvedeným príkladom výstupu danej funkcie. Volanie uvedenej funkcie môže nadobúdať viacero tvarov, ako napríklad *heuristika(n,t,r,d,'LPT',start=FALSE)*. Volanie funkcie obsahuje šesť vstupných parametrov:



- $n$  - počet strojov, príklad zadávania  $n=3$
- $t$  - časy trvania jednotlivých úloh (vektor), príklad zadávania:  $t=c(5,7,2,1,7,6,3,5)$
- $r$  - časy začiatku jednotlivých úloh (vektor), príklad zadávania  $r=c(3,2,9,8,1,4,5,6)$
- $d$  - časy ukončenia jednotlivých úloh (vektor), príklad:  $d=c(5,8,4,12,21,6,14,15)$
- type - typ heuristiky, možnosti sú 'LPT', 'SPT', 'EST', 'LST', 'EFT', 'LFT'
- start - T/F parameter, ktorý rozhoduje či uvažovať najskorší možný začiatok

Implementáciu kritériálnych funkcií umožňuje ohodnotiť rozvrhy, pričom existuje dve primárne dve možnosti volania:

- $kriterium(c,d,r)$  – vypočíta kritériálne hodnoty podľa vložených hodnôt parametrov rozvrhu,
- $kriterium2(H)$  – vypočíta kritériálne hodnoty predtým vytvoreného rozvrhu  $H$  z heuristiky (výstupná hodnota algoritmu heuristiky).

Pre implementáciu funkcie Johnsonovho algoritmu boli použité knižnice `reshape2` a `ggplot2`. Volanie uvedenej funkcie vyzerá nasledovne: `johnson(names,p1,p2)`, a obsahuje tri vstupné parametre:

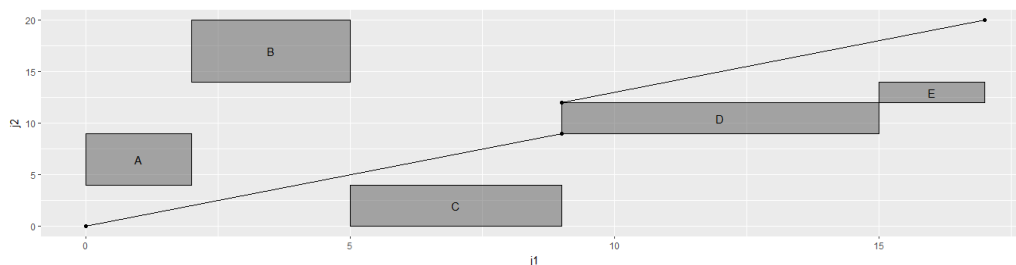
- names - poradové čísla/mená zákaziek, príklad zadávania: `names = c(1,2,3,4,5,6,7,8)`
- p1 - procesné časy na procesore 1, príklad zadávania: `p1 = c(6,3,6,7,4,8,2,3)`
- p2 - procesné časy na procesore 2, príklad zadávania: `p2 = c(5,7,2,1,4,3,5,6)`

Príklad výstupu rozvrhu k daným príkladom zadania je na Obr.3.

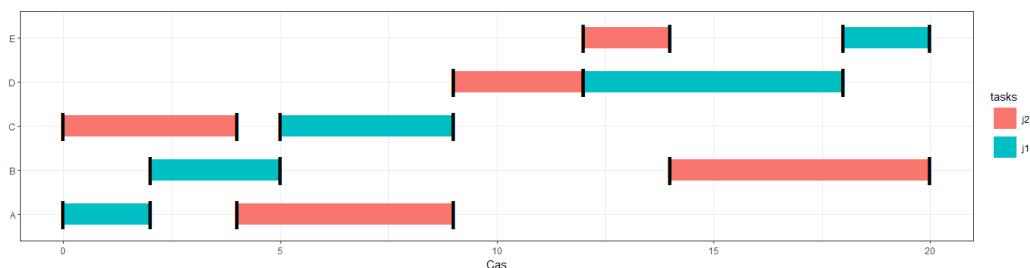
Pre implementáciu tejto funkcie bolo potrebné nainštalovať ďalšie knižnice `reshape2`, `ggplot2`, `data.table` a `gridExtra`. Volanie uvedenej funkcie vyzerá nasledovne: `jobshop(j1,t1,j2,t2)`, a obsahuje štyri vstupné parametre:

- j1 - poradie úloh na zákazke 1, príklad zadávania: `j1=c('A','B','C','D','E')`
- t1 - trvanie úloh na zákazke 1, príklad zadávania: `t1=c(2,3,4,6,2)`
- j2 - poradie úloh na zákazke 2, príklad zadávania: `j2=c('C','A','D','E','B')`
- t2 - trvanie úloh na zákazke 2, príklad zadávania: `t2=c(4,5,3,2,6)`

Keďže ide o grafické riešenie, implementácia tejto funkcie beží v dvoch fázach. V prvej sa po spustení funkcie zobrazí schéma so zakázanými oblasťami (vid'. príklad na Obr.5.). K tejto používateľ následne zadá tzv. pracovnú čiaru (ako postupnosť bodov tejto lomenej čiary). Potom funkcia skončí doplnením Ganttovho diagramu k danej pracovnej čiare.



Obr. 5 Príklad schémy grafického riešenia špeciálneho prípadu job shopu pre dve zákazky riešeného graficky – s návrhom pracovnej čiary vedúcej mimo zakázané oblasti rozvrhu.



Obr. 6 Konkrétny rozvrh k príkladu špeciálneho prípadu job shopu pre 2 zákazky – Ganttov diagram pre pracovnú čiaru definovanú na predchádzajúcom obrázku.

Finálny balík bol zbalený vo forme ZIP súboru, ktorý je možné jednoducho nainštalovať do prostredia R a používať.

#### IV. TESTOVANIE A VYHODNOTENIE BALÍKA

Okrem samotného balíka bola vytvorená aj webová aplikácia pomocou rámca Rshiny [5]. Úlohou RShiny aplikácie k balíku Rozvrhovanie bolo podrobnejšie vysvetliť spôsob výpočtu jednotlivých úloh, ako aj ukázať a vysvetliť spôsob zadávania hodnôt jednotlivých parametrov

funkcií. Cieľovou skupinou boli pre toto testovanie študenti predmetu Rozvrhovanie a logistika. Snahou bolo aby študenti rozumeli tomu, ako daná funkcia funguje a ako zadať hodnoty, a dopracovali sa tak k správne výsledku. Preto boli v rámci aplikácie uvedené konkrétne príklady aj s postupom riešenia a návodom, ako následne správne zadať hodnoty pre jednotlivé parametre funkcií balíka.

Po vytvorení balíka Rozvrhovanie a R Shiny aplikácie, ktorá bližšie popisuje fungovanie balíka, bola vytvorená aplikácia prezentovaná na cvičení z Rozvrhovania a logistiky. Študenti si vyskúšali prácu s balíkom v RStudio na základe postupov popísaných v RShiny aplikácii. Následne riešili ďalšie úlohy príbuzné k ukázkovým úlohám, s cieľom aplikovať funkcie balíka samostatne. Po tomto testovaní vyplnili online dotazník cez Google Forms o svojom používaní balíka. Dotazník vyplnilo spolu 18 študentov predmetu Rozvrhovanie a logistika. Otázky boli zamerané na rozhranie výpisov, kvalitu grafických výstupov, kvalitu spracovania príkladov a odhalenie prípadných chýb.

Výsledky dotazníka ukázali spokojnosť študentov so spracovaním príkladov použitia balíka. Rovnako prezentácia príkladov v rámci Rshiny aplikácie bola považovaná za postačujúcu. Menšie nedostatky boli zamerané na výhrady k tomu, že nebol použitý responzívny dizajn. Treba však povedať, že vzhľadom k hlavnému cieľu (balík v R), nemá táto požiadavka vysokú prioritu. V rámci používania a testovania študenti odhalili jednu slabinu pri zadávaní koordinátov pracovnej čiary v úlohe job shop. Pre vyjasnenie a upresnenie formátu správneho zadávania súradníc bola príslušným spôsobom upravená dokumentácia funkcie. Okrem toho poskytli respondenti niekoľko návrhov na vylepšenie balíka (alebo sprievodnej aplikácie pre podporu výučby), z ktorých väčšina bola zapracovaná do finálnej verzie balíka. Pozitívom bolo aj to, že v rámci predmetu Rozvrhovanie a logistika balík poskytol možnosť vyskúšať si rôzne úlohy pred písomným testom zameraným na rozvrhovanie, ktorý sa uskutočnil na nasledujúcom cvičení po testovaní. Dosiahnuté priemerné bodové hodnotenie oproti predchádzajúcemu roku bolo o zhruba 20% lepšie. Avšak vzhľadom k tomu že sme mali k dispozícii iba jednu skupinu cvičení, nebolo možné realizovať porovnávaciu analýzu dvoch skupín, kde by jedna používala aplikáciu a druhá nie.

## V. ZÁVER

Vytvorený balík v jazyku R pre riešenie vybraných úloh z oblasti rozvrhovania poskytuje možnosť využitia v procese výučby, avšak implementované funkcie si môžu nájsť uplatnenie v praktických úlohách v praxi. Jeho použiteľnosť má všeobecnejší charakter, prípadné rozšírenie s anglickým rozhraním by mohlo byť ponúkané v rámci CRAN úložiska, kde sa zdieľa väčšina balíkov v R. Okrem toho, našim cieľom je samozrejme aj intenzívnejšie zapojenie balíka do samotnej výučby v ďalších rokoch behu predmetov súvisiacich z danými úlohami rozvrhovania.

## POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt "Centrum informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy" (kód ITMS:26220120020), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## REFERENCIE

- [1] J. Paralič, *Rozvrhovanie a logistika*. Košice: Equilibria, 2010.
- [2] Writing R Extensions - <https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-release/R-exts.html>
- [3] Balík DiagrammeR – <http://rich-iannone.github.io/DiagrammeR/>
- [4] Balík Rgraphviz – <http://bioconductor.org/packages/release/bioc/html/Rgraphviz.html>
- [5] Balík ggplot2 – <http://ggplot2.org/>
- [6] Balík gridExtra – <https://cran.r-project.org/web/packages/gridExtra/index.html>
- [7] Balík data.table – <https://cran.r-project.org/web/packages/data.table/index.html>
- [8] Balík reshape2 – <https://cran.r-project.org/web/packages/reshape2/index.html>
- [9] RShiny – <https://shiny.rstudio.com/>

# Návrh a implementácia balíka v R pre podporu riešenia vybraných úloh z oblasti logistiky

Natália KUZMOVÁ, Peter BUTKA

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

natalia.kuzmova@student.tuke.sk, peter.butka@tuke.sk

**Abstrakt** — V rámci tejto práce bol vytvorený nový balík v jazyku R pre riešenie vybraných úloh z oblasti logistiky. Kým hlavným cieľom balíka je podpora výučby vybraných metód z oblasti logistiky, jeho použiteľnosť má širší charakter a umožňuje aplikovať implementované postupy aj v prípade praktických aplikácií. Medzi vybrané úlohy, ktoré balík rieši, patria rôzne alokačné úlohy (priradzovacie, distribučné problémy, investičný problém), zmiešavací problém, či úlohy výrobného plánovania. Z pohľadu výučbového procesu bol balík testovaný a vyhodnotený aplikovaním na predmete, ktorý sa danej problematike venuje.

**Kľúčové slová** — logistika, jazyk R, alokačné úlohy, priradzovacie problémy, distribučné problémy, plánovanie výroby, nástroje pre podporu výučby

## I. ÚVOD

Táto práca je zameraná na riešenie úloh z logistiky so zameraním najmä na alokačné úlohy s alokáciou do viacerých miest a vybrané úlohy lineárneho programovania z oblasti logistiky, ktoré sa vyučujú na predmete Rozvrhovanie a logistika [1]. Na riešenie vybraných úloh lineárneho programovania, konkrétne ide o úlohy finančného plánovania, zmiešavacieho problému, plánovania výroby a investičného problému, sa v súčasnosti používa program Visual Xpress-MP, ktorý beží len na operačných systémoch Windows 2000 Professional a Windows XP Professional. Ide teda o starší program so slabou podporou, ktoré by bolo potrebné nahradiť. Naším cieľom bolo využiť programovací jazyk R, s ktorým majú študenti skúsenosti z iných predmetov a poznajú prostredie RStudio. Rozvrhovanie a logistika sa tak zaradi k predmetom, ktoré podporuje výučbu daného jazyka a ukazuje jeho všestrannosť využitia.

Naším cieľom teda bolo vytvoriť balík Logistika, ktorý bude obsahovať jednotlivé funkcie na výpočet vybraných úloh z oblasti logistiky (aj so všeobecnejšou platnosťou). Okrem toho bol vytvorený aj webový portál na báze Rshiny, na ktorom sa nachádzajú ukážkové riešené príklady a dodatočné materiály slúžiace k porozumeniu učiva pri použití v rámci výučby. Následne bol tento balík vyhodnotený v rámci výučby predmetu, zo získanej spätnej väzby bude možné balík doplniť o ďalšie funkcionality, ako aj upraviť niektoré chyby implementácie či rozhrania.

V nasledujúcej kapitole uvedieme stručný prehľad analyzovaných a implementovaných úloh z oblasti logistiky, potom popíšeme implementáciu samotného balíka a jednotlivé funkcie. Na záver popíšeme vyhodnotenie balíka a získanú spätnú väzbu z procesu testovania.

## II. PREHĽAD VYBRANÝCH ÚLOH LOGISTIKY PRE IMPLEMENTÁCIU BALÍKA

Alokačné úlohy stoja na začiatku reťazca výrobnjej logistiky, pretože jednou z úloh, ktoré rieši, je rozhodnutie o umiestnení výroby. Rozlišujeme alokačné úlohy do jedného a do viacerých miest. Táto práca sa zameriava na alokačné úlohy s alokáciou do viacerých miest. Tieto druhy úloh sa navzájom odlišujú spôsobom, ktorým vznikajú náklady pri umiestňovaní a prevádzke nových objektov. Tieto úlohy predstavujú celočíselné, často bivalentné úlohy (objekt umiestnime alebo neumiestnime do daného miesta). Tak ako v tomto prípade, aj v ďalších sa pre zjednodušenie budeme držať v notácii a popise úloh učebnice J.Paraliča [1]. Ďalšie úlohy potom predstavujú úlohy s použitím lineárneho programovania (finančné plánovanie, zmiešavací problém, atď.).

### A. Priradzovacie problémy – základný, rozšírený (s existujúcimi strojmi) a kvadratický

Predpokladajme  $n$  objektov, ktoré je nutné umiestniť do  $n$  miest a zároveň splniť podmienku minimalizácie nákladov. O základnej verzii priradzovacieho problému hovoríme, ak sú známe náklady  $c_{ij}$  ( $1 \dots n, j = 1 \dots n$ ) pre umiestnenie  $i$ -teho objektu do  $j$ -teho miesta. Tento problém možno riešiť celočíselným programovaním – zostrojením jednoduchého bivalentného modelu, čo znamená, že každému umiestňovanému objektu priradíme jednu bivalentnú premennú, t.j.  $x_{ij} \in \{0,1\}$  pričom platí  $\forall i = 1 \dots n, \forall j = 1 \dots n$ . V prípade, že  $i$ -ty objekt umiestnime do  $j$ -teho miesta, platí  $x_{ij} = 1$ . Ak  $i$ -ty objekt neumiestnime do  $j$ -teho miesta, bude platiť  $x_{ij} = 0$ . Sumárne náklady, pre dané rozmiestnenie objektov, vyjadruje nasledujúca kritériálna funkcia

$$f(\bar{x}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \stackrel{!}{=} MIN$$

Pre túto funkciu existujú ohraničujúce podmienky dvoch typov, ktoré vyjadrujú, že:

- každý objekt môže byť lokalizovaný do práve jedného miesta

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad \forall j = 1 \dots n$$

- do každého miesta je priradený práve jeden objekt

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad \forall i = 1 \dots n$$

Tento model predstavuje tzv. základný prípad, jeho rozšírenie (ktoré je v praxi samozrejme bežné), je potreba umiestniť nové objekty do systému s existujúcimi objektmi, ku ktorým majú nové objekty väzby. Riešenie nie je v zásade veľmi odlišné od základného. Predpokladajme  $p$  existujúcich objektov v priestore, v ktorom chceme umiestniť  $n$  nových objektov na  $n$  dostupných miest. Ak existujú väzby medzi novými a existujúcimi objektmi, dostávame priradzovací problém, pričom si potrebujeme vypočítať náklady  $c_{ij}$ . Intenzitu väzieb medzi starými a novými objektmi definujú:

- matica vzdialeností medzi existujúcimi objektmi a novými miestami  $\bar{D} = [d_{ij}]_n^p$
- matica prepravných sadziab  $\bar{W} = [w_{ij}]_n^p$

Maticu nákladov vypočítame ako  $\bar{C} = \bar{W} \cdot \bar{D} = [w_{ik}]_p^n \cdot [d_{kj}]_n^p = [c_{ij}]_n^n$ . Bivalentný model je potom rovnaký ako pri základnom modeli (s použitím vypočítanej matice nákladov).

Najnáročnejším typom priradzovania je tzv. kvadratický priradzovací problém. V tejto verzii priradzovacieho problému máme za úlohu umiestniť  $n$  nových objektov do  $n$  miest, pričom medzi novými objektmi existujú vzájomné väzby. Poznáme:

- maticu vzdialeností  $\bar{D} = [d_{ij}]_n^n$ , kde  $d_{ij}$  je vzdialenosť medzi  $i$ -tym a  $j$ -tym miestom
- maticu prepravných sadziab  $\bar{W} = [w_{ij}]_n^n$ , kde  $w_{ij}$  je intenzita väzby medzi  $i$ -tym a  $j$ -tym novým objektom

Každé prijateľné riešenie sa dá vyjadriť ako permutácia  $\bar{P} = (p(1), \dots, p(n))$ , pričom  $p(i) = k$  znamená umiestnenie  $i$ -teho objektu do miesta  $k$ . Podľa danej permutácie sa náklady na lokalizáciu objektov dajú riešiť metódou CRAFT alebo metódou vetvenia a medzi a sú vyjadrené vzťahom:

$$f(\bar{P}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} d_{p(i)p(j)}$$

Táto optimalizácia je náročná, často je potrebné použiť heuristický algoritmus, napr. algoritmus CRAFT, ktorý bol implementovaný aj v našom prípade.

### B. Distribučné problémy

Pre zriadenie distribučného centra má výrobca daný počet  $m$  miest a dodáva tovar  $n$  odberateľom. Každé miesto má určené nemenné náklady  $f_i$  spojené so zriadením distribučného centra a náklady  $c_{ij}$  spojené s prepravou od  $i$ -teho distribučného centra pre  $j$ -teho odberateľa. Potrebujeme vybrať miesta, kde zriadieme distribučné centrá a zároveň minimalizujeme celkové náklady.

Pri riešení prostredníctvom celočíselného programovania, budeme potrebovať dve skupiny premenných:

- Výber ( $y_i = 1$ ) alebo zamietnutie ( $y_i = 0$ ) miesta pre umiestnenie distribučného centra budú reprezentované ako premenné  $y_i (i = 1, \dots, m)$
- Ktoré distribučné centrá budú dodávať ktorým odberateľom  $x_{ij} = \{0,1\} (i = 1, \dots, m; j = 1 \dots n)$  pričom predpokladáme, že jednotliví odberatelia odoberajú iba od jedného distribučného centra. Ak  $i$ -te distribučné centrum dodáva  $j$ -temu odberateľovi, platí  $x_{ij} = 1$ , inak  $x_{ij} = 0$ .

Fixné a prepravné náklady v súčte udávajú súhrnné náklady, ktoré vyjadruje vzťah:

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^m f_i y_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \stackrel{!}{=} MIN$$

Dve skupiny ohraničení zabezpečia:

- Každý odberateľ bude uspokojený dodávkami tovarov od jedného distribučného centra

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1 \quad (j = 1, \dots, n)$$

- Len naozaj zriadené distribučné centrum môže dodávať

$$x_{ij} \leq y_i \quad (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n)$$

Okrem tejto verzie, náš balík rieši aj dve prakticky motivované modifikácie (rozdiel v riešení znamená úpravu vstupov a vybraných ohraničení, viac je možné nájsť v [1]):

1. Distribučné centrá majú obmedzené kapacity, avšak stále platí, že jedno distribučné centrum dodáva všetok tovar každému odberateľovi.
2. Distribučné centrá majú obmedzené kapacity a tiež, že tovar môže byť odoberaný z viacerých centier jedným odberateľom. Premenné  $x_{ij}$  obsahujú množstvo tovaru od  $i$ -teho distribučného centra  $j$ -temu odberateľovi.

### C. Investičný problém

Takisto ide v podstate o alokačnú úlohu. Cieľom je vybrať akcie pre vykonanie (investície), ak sú naše zdroje obmedzené. Bivalentné premenné pri tomto type úlohy zodpovedajú jednotlivým investičným akciám. Musíme sa rozhodnúť, ktoré akcie zrealizujeme v danom prípade, dbajúc na jediné ohraničenie – neprekročenie celkového limitu. Naše premenné môžu nadobudnúť len dve hodnoty – 1 (ak sa akcia uskutoční) a 0 (akcia sa neuskutoční). Celkové náklady vypočítame tak, že vynásobíme premennú s nákladmi na jej uskutočnenie a ich súčtom pre všetky akcie. Riešenie získame aplikáciou solvera na tento celočíselný program.

### D. Ďalšie úlohy

Okrem doteraz uvedených spomeňme stručne aj ďalšie vybrané úlohy, ktoré sme sa snažili implementovať do balíka.

Jednou z ďalších úloh je tzv. zmiešavací problém. V tomto prípade máme rôzne vstupné prvky (napr. prísady krmiva pre dobytok), ktoré môžeme zmiešať do jednej zmesi (napr. krmna zmes) v ľubovoľnom pomere. Na vlastnosti zmiešavania môžu byť použité nami určené požiadavky (ohraničenia, napr. minimálny obsah živín po zmiešaní prísad v krmive). Tieto musíme splniť a navyše sa snažíme dosiahnuť takúto zmes s pokiaľ možno čo najmenšími nákladmi na sledovanú jednotku (napr. čo najnižšia cena na 1kg krmnej zmesi). Tento problém je možné riešiť lineárnym programovaním.

Ďalšou klasickou úlohou v tomto prípade je problém výrobného programu. Cieľom je nastaviť v továrni normálnu výrobu, nadčasovú výrobu, skladovanie (to všetko v rôznych časových obdobiach) tak, aby sme splnili potreby výroby, odbytu, či iných ohraničení, s pokiaľ čo najnižšou cenou (alebo najvyšším ziskom). Príbuznou úlohou je tzv. finančné plánovanie, kde je cieľom nastaviť optimálne rozsah jednotlivých finančných produktov banky tak, aby dosiahla čo najvyšší zisk. Aj tieto úlohy sú dobre riešiteľné lineárnym programovaním.

## III. NÁVRH A IMPLEMENTÁCIA FUNKCIÍ BALÍKA LOGISTIKA

Pri vytváraní balíka sme postupovali v zmysle postupov pre vytváranie rozšírení v R [2]. Pre praktickú implementáciu sme využili možnosti solverov implementovaných v balíkoch lpSolve [3] a lpSolveAPI [4], ktoré poskytujú základné postupy pre nájdenie všeobecných riešení lineárnych a celočíselných programov. Vďaka tomu bolo možné implementovať špecifické verzie vybraných úloh, okrem algoritmu CRAFT pre riešenie kvadratického priradzovacieho problému, kde bolo potrebné implementovať celý postup od začiatku.

Balík `lpSolve` poskytuje elegantné riešenie priradovacích úloh, nakoľko stačia len dva príkazy a dostaneme riešenie úloh. Balík `lpSolveAPI` má bohatú dokumentáciu a existuje mnoho príkladov použitia v praxi. Umožňuje zadávať hodnoty po stĺpcoch (príkaz `set.column()` na pridávanie hodnôt po stĺpcoch, príkaz `set.constr.type()` na pridávanie znamienok pre jednotlivé ohraničenia po stĺpcoch a príkaz `set.rhs()` pre pridanie hodnôt pravej strany rovníc a nerovníc ohraničení po stĺpcoch), po riadkoch (`add.constraint()`). Kriteiálna funkcia sa zadáva vo všetkých prípadoch rovnako príkazom `set.objfn()`. Či ide o maximalizáciu alebo minimalizáciu zabezpečuje príkaz `lp.control()`. Jedinou nevýhodou tohto balíka je, že nezobrazuje do konzoly prehľadný matematický model pri väčšom počte premenných a ohraničení, rozsiahlejší model je potrebné vypísať samostatne do súboru.

Balík primárne pozostáva z jednotlivých funkcií riešiacich vybrané logistické úlohy. Tieto si teraz stručne popíšeme:

- *prizrakl* - slúži na riešenie základnej verzie priradovacieho problému. Táto funkcia využíva len funkcie balíka `lpSolve`. Funkcia *prizrakl* má len jeden parameter s názvom *matica* – ide maticu nákladov *C*. Výstupom funkcie je matica *X*, ktorá znázorňuje, ako umiestniť *n* objektov do *n* miest za dodržania podmienky minimálnych nákladov.
- *prirad* – rieši priradzovací problém s väzbami medzi existujúcimi a novými objektmi. Táto funkcia využíva tiež len funkcie z balíka `lpSolve`. Funkcia má štyri parametre – *prepravsadz*, *vzdialenosti*, *penalizacia*, *vypis*. Parameter *prepravsadz* je matica prepravných sadziab *W* a *vzdialenosti* je matica vzdialeností medzi existujúcimi objektmi a novými miestami *D*. Oboje zadáva používateľ ako maticu. Ďalším parametrom funkcie je *penalizacia*, ktorá môže, ale nemusí byť zadaná, funkcia sa spustí aj bez tohto parametra. Zadáva sa ako zoznam vektorov, pričom v jednom vektore sa nachádzajú súradnice len na jednu neobsaditeľnú pozíciu. Ak je *penalizacia* zadaná, nájde sa najväčšia hodnota v matici nákladov, ktorá je následne vynásobená číslom 1000 a vzniknutý súčin je dosadený na pozície, ktoré určujú zadané súradnice. Posledným parametrom je *vypis* (`TRUE` alebo `FALSE`). Ak nie je zadaný, je prednastavený na hodnotu `FALSE`. Poskytuje detailný popis výpočtu cenovej matice, pre podrobnejšie vysvetlenie. Výstupom je matica priradení objektov k miestam *X*.
- *craft* – rieši kvadratický priradzovací problém pomocou metódy `CRAFT`, pričom parametrami funkcie sú štartovacia permutácia (vektor priradenia) *P*, matica prepravných sadziab (väziab) *W* a matica vzdialeností medzi miestami *D*. Pri tvorbe tejto funkcie nebol použitý žiadny doplňujúci balík, len základné funkcie z balíkov, ktoré `R` obsahuje. Výstupom je najlepšia nájdená permutácia priradení objektov, ktorú `CRAFT` heuristika dosiahne.
- *distr1* – rieši všeobecnú verziu distribučného problému. Ako parametre má *naklady*, *dodavky*, *vzdialenosti*. *Naklady* a *dodavky* zadávame ako vektory, *vzdialenosti* ako maticu. Táto funkcia využíva funkcie balíka `lpSolveAPI`. Výstupom tejto funkcie sú hodnoty pre *X* (matica priradení vyjadrujúciach dodávanie z jednotlivých distribučných centier jednotlivým odberateľom) a *Y* (vektor priradení vyjadrujúci vytvorenie alebo nevytvorenie jednotlivých distribučných centier).
- *distr2* – rozšírenie distribučného problému s obmedzením kapacít centier, dodatočným parametrom funkcie preto je parameter *kapacity* (s hodnotami maximálnych kapacít jednotlivých centier). Výstup je inak rovnaký ako v prípade predchádzajúcej funkcie.
- *distr3* – rozšírenie predchádzajúcej verzie, kde však uvažujeme možnosť dodávky jednému odberateľovi z viacerých centier. V tomto prípade sú vstupné parametre rovnaké, avšak princíp sa mení na tzv. zmiešané programovanie. Riešením je bivalentné rozhodnutie o vytvorení centier, avšak dodávky odberateľom už nie sú len o rozhodnutí (či áno alebo nie), ale aj o presnom množstve dodávky. Táto funkcia využíva funkcie balíka `lpSolveAPI`.
- *finplan* – riešené cez `lpSolveAPI`, podporuje návrh riešenie špecifického zadania problému finančného plánovania rôznych produktov, avšak zadanie je relatívne všeobecné v tvare `finplan(KF, ohranicenia, znamienka, premenne)`. *KF*, *znamienka* a *premenne* zadávame ako vektor, kým *ohranicenia* ako zoznam vektorov.
- *zmies* – rieši zmiešavací problém, kde zadávame parametre *KF*, *prisada*, *zivina*, *znamienka*, *premenne*. Aj pri tvorbe tejto funkcie bol použitý balík `lpSolveAPI`. *KF*, *zivina*, *znamienka*, *premenne* zadávame ako vektor, iba parameter *prisada* zadávame ako zoznam vektorov, pričom v každom vektore sa nachádzajú všetky hodnoty pre danú prísadu. Napriek špecifickým názvom, je možné funkciu použiť pre rôzne alternatívy zmiešavania, je potrebné iba správne identifikovať miesto pre zadanie vstupov (napr. že *zivina* je potrebné množstvo nejakého vstupného materiálu, napríklad pri zmiešavaní zliatiny môže ísť o vektor požadovaných hodnôt prímiesí). Doplnenie premenných do mernej jednotky (tav. výplň) je podľa potreby realizovaná

automaticky v rámci danej funkcie. Výstupom je potom množstvo každej prísady na mernú jednotku.

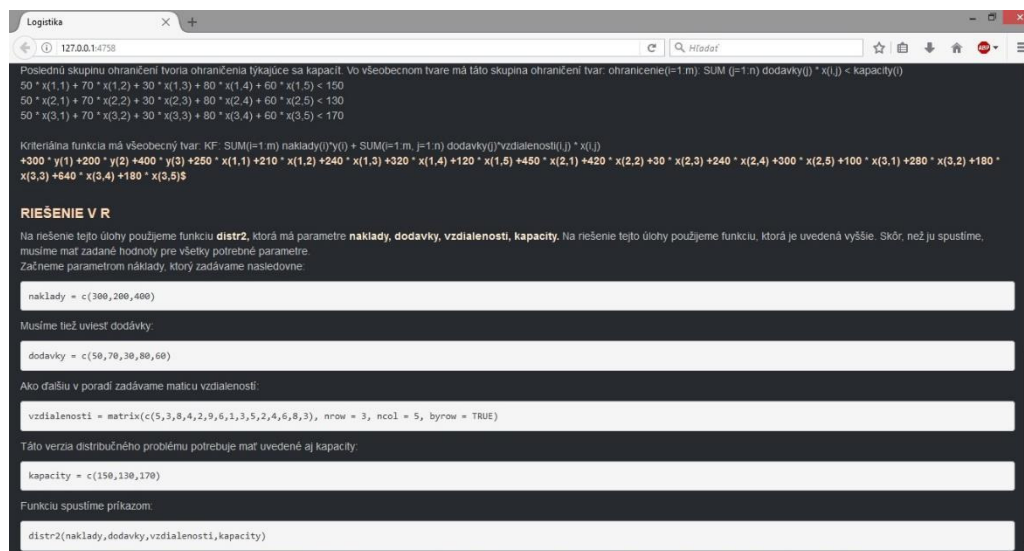
- *vyrob* – funkcia realizujúca úlohu o výrobnom programe (tiež pomocou balíka *lpSolveAPI*), zadávanie parametrov (KF, dopyt, obmedzenia, premenne, znamienka) bolo realizované podobne ako v predchádzajúcom prípade.
- *invest* – funkcia na riešenie investičného problému, s parametrami naklady, zisk, max, znamienka. Naklady, zisk a znamienka zadávame vo forme vektora, hodnotu pre investičný limit označený pojmom max zadáme ako konštantu (teda napr. max = 130). K vytvoreniu tejto funkcie bol použitý balík *lpSolveAPI*. Výstupom je hodnota pre maximálny zisk, ktorý dosiahneme, ak uskutočníme investičné akcie, ktoré sa zobrazia v binárnej podobe (1 znamená uskutočnenie investície, 0 neuskutočnenie).

Balík bol zbalený vo forme ZIP súboru, ktorý je možné jednoducho nainštalovať do prostredia R a používať.

#### IV. TESTOVANIE A VYHODNOTENIE BALÍKA

Okrem samotného balíka bola vytvorená aj webová aplikácia pomocou rámca Rshiny [5]. Úlohou RShiny aplikácie k balíku *Logistika* bolo podrobnejšie vysvetliť spôsob výpočtu jednotlivých úloh a tým názorne ukázať a vysvetliť spôsob zadávania hodnôt jednotlivých parametrov funkcií. Cieľovou skupinou boli pre toto testovanie študenti predmetu Rozvrhovanie a logistika. Aby študenti rozumeli tomu, ako funkcia funguje a ako zadať hodnoty, a dopracovali sa tak k správnejmu výsledku, potrebujú pochopiť danú úlohu. Preto boli v rámci aplikácie uvedené konkrétne príklady aj s postupom riešenia a návodom, ako následne správne zadať hodnoty pre jednotlivé parametre funkcií balíka.

R Shiny aplikácia má 9 záložiek, tzv. tabov. Príklad popisu jednej z úloh v rámci aplikácie je na Obr.1. Ako prvý sa zobrazí úvodný tab s názvom Úvod, kde sa nachádza odkaz na stránku, z ktorej je možné stiahnuť balík, ako aj postup inštalácie balíka *Logistika*, príkaz na jeho spustenie a tiež príkazy na stiahnutie doplnkových knižníc *lpSolve* a *lpSolveAPI*, bez ktorých balík nie je funkčný. Ostatné taby nesú názvy úloh, teda – Finančné plánovanie, Zmiešavací problém, Plánovanie výroby – úloha o výrobnom programe, Investičný problém, Priradovací problém – základná verzia, Priradovací problém, Kvadratický priradovací problém – CRAFT, Distribučný problém – verzia 1, 2, 3.



Obr. 1 Príklad popisu distribučnej úlohy (funkcie *distr2*) v rámci sprievodnej RShiny aplikácie.

Štruktúra každého tabu je rovnaká (okrem distribučného problému). Ako prvý je na stránke zadanie úlohy s odkazom na stránku, kde sa zadanie nachádza a tiež na študijný materiál týkajúci sa danej úlohy. Nasleduje matematický zápis danej úlohy, kde sú spísané ohraničenia, kriteriálne funkcie, obmedzenia (pri úlohe o výrobnom programe), a prípadne aj postup riešenia (pri kvadratickom priradovacom probléme), či postup úpravy ohraničení (pri úlohe o finančnom plánovaní). V závere je časť nazvaná Riešenie v R, kde je popísané, aká funkcia rieši daný problém, aké má tá funkcia parametre, v akom tvare je potrebné zadávať hodnoty pre jednotlivé parametre a ako následne spustiť funkciu.

Tab Distribučný problém – verzia 1, 2, 3 má spoločné zadanie úlohy pre všetky verzie. Ďalej sa tam nachádzajú taby pre jednotlivé verzie problému – Verzia 1, Verzia 2, Verzia 3. Štruktúra

týchto tabov je nasledujúca – stručný a výstižný popis konkrétnej verzie distribučného problému, matematický zápis a postup riešenia v R.

Po vytvorení balíka Logistika a R Shiny aplikácie, ktorá bližšie popisuje fungovanie balíka, bola vytvorená aplikácia prezentovaná na cvičení z Rozvrhovania a logistiky. Študenti si vyskúšali prácu s balíkom v RStuđiu na základe postupov popísaných v R Shiny aplikácii. Následne riešili ďalšie úlohy príbuzné k ukázkovým úlohám, s cieľom aplikovať funkcie balíka samostatne. Po tomto testovaní vyplnili online dotazník cez Google Forms o svojich skúsenostiach s balíkom. Dotazník vyplnilo spolu 18 študentov predmetu Rozvrhovanie a logistika. Otázky boli zamerané na rozhranie výpisov, kvalitu spracovania príkladov a odhalenie prípadných chýb.

Výsledky dotazníka preukázali spokojnosť študentov s kvalitou spracovania príkladov použitia balíka. Rovnako ich prezentácia v rámci Rshiny aplikácie bola považovaná za jasnú a zrozumiteľnú. V rámci balíka boli uprednostnené dlhé názvy premenných, tu sa ukázalo, že zhruba polovica študentov bola spokojná s týmto prístupom. Naopak, zo zvyšku by väčšina uprednostnila skrátené názvy a menšia časť iba začiatkové písmena (ako napríklad W,D, KF, atď.). V rámci používania a testovania študenti odhalili 2 chyby v rámci popisu úloh, poskytli aj niekoľko návrhov na vylepšenie balíka (alebo sprievodnej aplikácie pre podporu výučby). Tieto pripomienky sa podarilo do finálnej verzie balíka zapracovať. Bohužiaľ, vzhľadom k tomu že sme mali k dispozícii iba jednu skupinu cvičení, nebolo možné realizovať komparatívnu analýzu dvoch skupín, kde by jedna používala aplikáciu a druhá nie (a porovnávať napríklad ich pochopenie riešených úloh).

## V. ZÁVER

Vytvorený balík v jazyku R pre riešenie vybraných úloh z oblasti logistiky poskytuje nielen možnosť využitia v procese výučby, ale takisto priestore pre aplikáciu v praktických úlohách vybraných problémov v praxi. Jeho použiteľnosť má všeobecnejší charakter a po rozšírení o anglické rozhranie (s príslušnou terminológiou v angličtine pre danú oblasť, zovšeobecňujúcimi popismi funkcií a anglickou dokumentáciou v podobe sprievodného dokumentu) by mohol byť ponúkaný aj v rámci CRAN úložiska, kde sa zdieľa väčšina balíkov v R. Okrem toho, našim cieľom je aj zapojenie balíka do výučby v intenzívnejšej miere v ďalších rokoch behu predmetov súvisiacich s danými úlohami logistiky.

## POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt "Centrum informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy" (kód ITMS:26220120020), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## REFERENCIE

- [1] J. Paralič, *Rozvrhovanie a logistika*. Košice: Equilibria, 2010.
- [2] Writing R Extensions - <https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-release/R-exts.html>
- [3] Balík lpSolve - <https://cran.r-project.org/web/packages/lpSolve/index.html>
- [4] Balík lpSolveAPI - <https://cran.r-project.org/web/packages/lpSolveAPI/index.html>
- [5] RShiny – <https://shiny.rstudio.com/>



# Web aplikácia pre podporu vizualizácie a objavovania znalostí vo vybranej množine dát z oblasti športu

*Martin GAJDOŠČÍK, Peter BUTKA*

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

[martin.gajdoscik@student.tuke.sk](mailto:martin.gajdoscik@student.tuke.sk), [peter.butka@tuke.sk](mailto:peter.butka@tuke.sk)

**Abstrakt** — V rámci tejto práce bola vytvorená web aplikácia pre podporu analýzy a vizualizácie dát z domény hokejových zápasov, konkrétne štatistik z NHL. Aplikácia bola navrhnutá v R použitím rámca Rshiny. Použitým procesom analýzy dát bola metodológia CRISP-DM. Dáta sú použité zo serveru zaoberajúcom sa štatistikami NHL hráčov. Vytvorené boli taktiež prototypy výslednej aplikácie cez prototypovacie nástroje, ako napríklad EdrawMax alebo Microsoft PowerPoint. Ich cieľom bolo ukázať a lepšie pochopiť cieľový vzhľad aplikácie z pohľadu možného používateľa. Okrem vizualizácii dát boli aplikované aj funkcie pre predikciu, zhľukovanie dát, ako aj vyhľadávanie hráčov k špecifikovaným kombináciám atribútov, s cieľom umožniť určiť zaujímavé skupiny hráčov, alebo odhadnúť ich budúce hodnotenia.

**Kľúčové slová** — objavovanie znalostí, hokejové štatistiky, jazyk R, Rshiny, web aplikácia, vizualizácia dát, predikcia, zhľukovanie

## I. ÚVOD

Plánom navrhovanej aplikácie je sprístupniť podrobné hokejové štatistiky hokejovej verejnosti na Slovensku a v strednej Európe v podobe interaktívnych grafov. Hokej je jedným z najmasovejších športov, ktorý sa v našich končinách hráva. Samozrejme aj jeho sledovanosť je na vysokej úrovni. Avšak v porovnaní so zámorskými súťažami je to oveľa nižšie číslo. Na toto vysvetlenie existuje viacero dôvodov ako napríklad aj to, že hokej je kolískou hokeja v Kanade. Ale dôležitejším a o to podstatnejším dôvodom je aj absencia podrobných štatistických údajov jednotlivých hráčov, resp. tímov. Zatiaľ čo v zámorí sa takýmto štatistikám venujú takmer vždy a všade, u nás tieto údaje chýbajú. Pre Slovákov ako aj pre Európanov sú zohľadnené iba tie najpodstatnejšie štatistiky, ako sú góly, body a asistencie. Samozrejme tieto atribúty sú určite nezanedbateľné, avšak je potrebné ich rozvinúť o mnoho ďalších nemenej dôležitých atribútov.

Objavovanie znalostí z databáz (KDD) je tradične popisovaný ako proces semi-automatickej extrakcie znalosti z databáz, ktorého cieľom je vyhľadávanie doteraz neznámych a otencionálne užitočných znalostí [1]. Samotný proces pozostáva z viacerých krokov, od získania dát, cez ich predspracovania, transformácie, vytváranie modelov pre odhaľovanie vzorov, až po ich využitie ako získaných znalostí. V tejto práci je hlavné zameranie najmä na získavanie a analýzu dát práve v doméne dát z hokejových štatistik.

Prioritnými súťažami na našom kontinente sú Kontinentálna hokejová liga (KHL) alebo Švédska SHL či Fínska SM-Liiga. Pre Slovákov sú zaujímavé ligy naša TIPSPORT Extraliga alebo Česká Extraliga. No aj napriek tomu sa tá najlepšia hokejová súťaž odohráva v USA a Kanade v spoločnej súťaži s menom NHL. V tejto lige hráva množstvo hráčov aj z nášho svetadielu. Okrem iných aj niekoľko Slovákov. Preto aj táto súťaž púta v našich končinách mnoho pozornosti a venuje sa jej mnoho médií. A aj pre vznik a funkčnosť rôznych fanklubov klubov NHL v Európe vieme, že hokejová NHL bude zaujímať a aj zaujíma množstvo našich ľudí. To znamená, že naša aplikácia má potenciál dosiahnuť vysokú používateľnosť a návštevnosť aj u nás na Slovensku a v Európe. Cieľom je poskytnúť rôznorodé vizualizácie a funkcionality, ktoré by boli inovatívne a zaujímavé pre používateľa, a ktoré sú realizované v rámci R / Rshiny.

V nasledujúcej kapitole uvedieme stručný pohľad na existujúce nástroje, následne sa zameriame na návrh riešenia a analýzu vstupných dát, potom popíšeme jednotlivé implementované funkcionality.

## II. PREHLAD EXISTUJÚCICH APLIKÁCIÍ V DOMÉNE ANALÝZY HOKEJOVÝCH ŠTATISTÍK

Ako sme už spomínali v našich končinách neexistujú podobné aplikácie ako je naša navrhovaná. Preto sa pokúsime pozrieť do zámoria a porovnáme si ich riešenia štatistických analýz. Zistíme aké majú svoje výhody a aj nevýhody. Na záver si ich navzájom porovnáme a vyberieme si z nich veci, ktorými by sme chceli obohatiť aj našu aplikáciu. Takisto nájdeme aj chyby v systémoch, ktorým by sme sa radi vyhli.

Funkčnosť týchto systémov bola analyzovaná na základe niekoľkých požiadaviek, ktorými sú: 1. Rýchlosť odozvy, 2. Grafická prehľadnosť aplikácie, 3. Rozsah ponuky funkcií, 4. Prehľadnosť a zložitosť hľadania, 5. Kvalita dostupných informácií. Tieto funkcie sme hodnotili známami 1-5. Slovom veľmi dobré (1), celkom dobré (2), priemerné (3), zlé (4), veľmi zlé (5).

Corsica.hockey [2] v našom hodnotení prospel celkom dobre. Jedinou a hlavnou nevýhodou tejto aplikácie je jeho rýchlosť odozvy. Systém veľmi dlho spracováva zmenu stavu a nedokáže naň rýchlo nadviazať. Ostatné kritéria sú výborne hodnotené. Ešte menšou chybičkou je dezorientácia na stránke. Ale po používaní si na ňu rýchlo zvyknete.

Aplikácia SportinCharts.com [3] prospela v hodnotení celkom dobre. Hlavnou nevýhodou tohto systému je rozsiahlosť funkcií, keďže systém obsahuje iba jednu hlavnú úlohu a to je porovnávanie hráčov. Ostatné úlohy sú menej prioritné. Tak isto kvalita a podanie týchto získaných informácií nie je na dostatočnej úrovni. Zvyšné tri funkcie obstáli vo výbornom hodnotení.

HockeyAbstract.com [4] prospel v hodnotení aplikácii priemerne. A to hlavne kvôli nezvládnutej grafickej stránke aplikácie. Práve ta je veľmi neprehľadná a ťažko sa v nej hľadajú potrebné veci. Tak isto aj farebnosť tohto systému sa dala zvládnuť aj lepšie. Menšími chybičkami sú aj rýchlo odozvy, ktorá je na priemernej úrovni. Zložitosť hľadania je na nízkej úrovni, ale je to zapríčinené aj farbami stránky. Rozsah a kvalita funkcií sú na prijateľnej úrovni.

V systéme HockeyStats.ca [5] ide hlavne o jednu vec a to porovnávanie a zobrazovanie jednotlivých zápasov. Ďalšími nami potrebnými funkciami táto aplikácia nedisponuje. V systéme je veľmi jednoduché sa stratiť a ani neviete ako, ale nie je to veľký problém keďže sa dá rýchlo vrátiť späť. Kvalita týchto dát je na priemernej úrovni a to kvôli tomu, že nie každý návštevník jej musí rozumieť. Ale jej výhodou je dobrá odozva a farebnosť systému.

QuantHockey.com [6] je aplikácia, ktorá ako niektoré predošlé sa zameriava iba na určité funkcie. V tomto prípade to je porovnávanie tímov v rámci líg na základe stanovených kritérií. To je výraznou slabinou tejto aplikácie. Tak isto kvalita týchto získaných údajov nie je na postačujúcej úrovni. Tento fakt vyplýva z veľmi veľa podobných a nie veľmi podrobných grafov. Ale systém ako celok pôsobí celkom dobrým dojmom a má mnoho výhod používania.

Aplikácia TheHockeyNinja.com [7] sa zameriava na turnajové štatistiky, nie len na tie ligové. No aj napriek tomu požadovaný rozsah funkcií nie je najväčší. Veľkou nevýhodou tohto systému je aj jeho zlá grafická prehľadnosť, pretože veľmi veľká časť stránky spolu dosť často splýva a to nám zapríčiňuje značné problémy v používaní. Rýchlosť odozvy je dosť premenlivá. Niekedy je na dobrej úrovni, inokedy zase na nižšej. Ale aj tento systém má tiež svoje výhody ako aj tie predošlé.

Porovnávané systémy	Rýchlosť odozvy	Grafická prehľadnosť aplikácie	Rozsah ponuky funkcií	Prehľadnosť a zložitosť hľadania	Kvalita dostupných informácií
Corsica.hockey	5	1	1	3	2
SportingCharts.com	2	1	4	1	3
HockeyAbstract.com	3	5	2	3	2
HockeyStats.ca	2	2	4	3	3
QuantHockey.com	1	2	4	2	3
TheHockeyNinja.com	3	4	3	2	1

Obr. 1 Porovnanie existujúcich systémov.

Celkovo nám v porovnávaní (viď. Obr.1) vyšiel najlepšie hodnotení systém SportingCharts.com. A hneď za ním v tesnom závесе sa nachádzajú dve podobne hodnotené aplikácie. Konkrétne sa jedná o Corsica.hockey a QuantHockey.com. S určitým odstupom za nimi sa nachádzajú TheHockeyNinja.com a HockeyStats.com. A ako najhorší systém sme vyhodnotili HockeyAbstract.com. Avšak náš systém má byť hlavne multifunkčný. Teda rozsah funkcií je najdôležitejším faktorom porovnávania. V ňom najlepšie obstála aplikácia

Corsica.hockey. Preto sa budeme snažiť podobať najmä danej aplikácii. V našom systéme sa budeme snažiť eliminovať jeho najväčší nedostatok. A to je rýchlosť odozvy. Ostatné funkcie budeme taktiež chcieť čo najviac upgradovať.

### III. NÁVRH APLIKÁCIE – KRITÉRIÁ ÚSPEŠNOSTI A PROTOTYPOVANIE

Vznik aplikácie a následne aj jej úspešne fungovanie je možné merať nasledovnými kritériami. Cieľom je ponúknuť minimálne 20% funkcií, ktorými disponuje systém Corsica.hockey. Okrem toho ponúknuť ďalších aspoň 15 % nových funkcií. Cieľový systém by mal minimalizovať rýchlosť odozvy na maximálnu prípustnú mieru 50 ms.

Predpoklady pre úspešné zavedenie aplikácie do prevádzky sú postavené na účasti slovenských a európskych hokejistov v zámorskej NHL, existencii fanklubov klubov z NHL v Európe, ako aj na fakte že európske štáty sú hokejovo vzdelané a zaujímajú sa o hokej. Takisto popularita NHL v Európe rastie a prístup k internetu sa zväčšuje, pričom rastie aj snaha fanúšika viac hokeju rozumieť, byť tak trochu trénerom či manažérom.

Podľa predchádzajúcich porovnávaní konkurenčných systémov sme určili prioritné body, ktorými má náš systém disponovať. Podľa týchto kritérií sme vytvorili niekoľko prototypov výslednej aplikácie. A tie sme neskôr porovnávali a testovali na potencionálnych používateľoch systému. Z tohto testovania nám najlepšie vyšiel prototyp. Podľa tohto prototypu by aplikácia vyzerala podobne ako systém Corsica.hockey. Na ľavej strane rozhrania by sa nachádzal filter s výberom z rôznych funkcií. Tam by si používateľ vybral potrebné množstvo analyzovaných údajov. Ak by s týmto výberom bol spokojný pokračoval by tlačidlom „Potvrdiť“. Následne v tmavšej časti obrazovky by sa zobrazil výsledný interaktívny graf. Z neho by sa dalo vyčítať množstvo zmysluplných informácií. Existovalo by mnoho funkcií pre zobrazenie na grafe. Tieto funkcie by sa dali zvoliť v možnostiach „Zobrazenie na osi X a Y“.

Po návrhu používateľského základného pohľadu bol navrhnutý konceptuálny model používateľov a základných prvkov systému. K systému majú prístup dvaja účastníci. A to administrátor a používateľ. Zatiaľ čo administrátor zvolené dáta vytvorí a sprístupní, používateľ o nich najprv požiada a neskôr mu budú zobrazené. Môže ich potom ľubovoľne používať. A môže si vyberať z rôznych funkcií, ktorými dané dáta disponujú. Tieto dáta sú na rovnocennej úrovni a musí si zvoliť určitú množinu z každej jednej. Neexistuje, že jedna z vlastností dát zostane nezvolená. Následne sme použili techniky návrhu postupnosti obrazoviek cez tzv. SSQ diagram. Pri otvorení obrazovky sa zobrazí základné používateľské menu s jednou obrazovkou. Používateľ bude disponovať šiestimi voľbami výberu, pričom každá z nich musí byť vyplnená. Niektoré z prednastavených atribútov budú mať intervalové nastavenie a iné zase budú obsahovať povolené hodnoty z ktorých si používateľ vyberie. Po nastavení každého atribútu povolenou hodnotou klikne na tlačidlo „Potvrdiť“. Po tomto kliknutí sa zobrazí požadovaný typ grafu.

Návrh používateľského rozhrania bol vytváraný iteratívne, s orientáciou na používateľa, v dvoch prototypoch. Prvý prototyp bol vytvorený s pomocou prototypovacieho nástroja Edraw Max a overený prostredníctvom používateľského testovania. Druhý prototyp bol už vytvorený s pomocou Microsoft PowerPoint a bol taktiež overený prostredníctvom používateľského testovania. Používateľské testovanie bolo vykonané so 6 používateľmi v každej iterácii. Hlavnou devízou vylepšenia zvolených prototypov je zjednodušiť prácu s menu funkcií. Je potrebné prispôbiť skratky atribútov aj pre menej hokejovo vzdelaných divákov. Požadované funkcie bolo potrebné zoštandardizovať a zosumarizovať do jednotných celkov. Taktiež bolo dôležitou súčasťou úprav aj zlepšenie grafickej stránky aplikácie.

### IV. IMPLEMENTÁCIA WEB APLIKÁCIE POUŽITÍM RÁMCA RSHINY

Našou úlohou bolo prejsť celým proces dolovania v dátach. Na tento proces bol použitý už spomínaný proces objavovania znalostí a procesný model CRISP-DM [1].

Cieľom je vytvoriť interaktívne grafy podporujúce analýzu štatistických informácií ohľadom hráčov z NHL, v prostredí RShiny [8]. Pomocou týchto grafov bude jednoduchšia cesta k pochopeniu už sprístupnených dát. Dôležitou fázou bude jednoznačne ukázať prehľadnosť a vysokú kvalitatívnu hodnotu týchto vytvorených grafov.

#### A. Predspracovanie dát

V dátach sa nám aktuálne nachádza 24 481 záznamov a pri nich aj 97 atribútov. Väčšina týchto atribútov je buď typu „integer“ alebo typu „numeric“. Toto rozdelenie závisí od počtu desiatinných miest. Ak sa nachádzajú v atribúte iba celé čísla, potom je tento atribút typu „integer“. Ak sa v atribúte nachádzajú aj desiatinné čísla, potom je tento atribút typu „numeric“. Takýchto atribútov tu máme 92. Zvyšných 5 atribútov je typu „factor“. To znamená, že obsahujú písmená resp. slová. Tieto dáta, ktoré máme k dispozícii sú dáta z NHL. Teda jedná sa o dáta o

hokejistoch hrajúcich práve v tejto súťaži. Dáta sú voľne dostupné na stránke Puckalytics<sup>1</sup>. Z tohto serveru sme si stiahli dáta iba hráčov v poli. To znamená, že brankári sa v našich dátach nevyskytnú. A tiež sme odstránili hráčov, ktorý neodohrali v jednotlivých sezónach aspoň 30 minút. Atribúty, ktoré máme dostupné si môžeme rozdeliť do niekoľkých kategórií podľa ich významu a typu. Týchto kategórií budeme mať 8 a môžeme si ich aj vymenovať (počet atribútov v skupinách je v zátvorke):

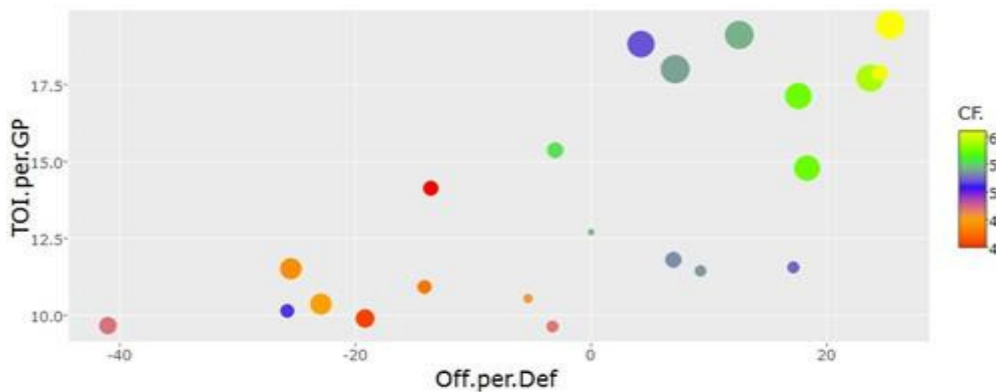
1. Hlavná (7) - V tejto časti sa budú nachádzať základné atribúty o hráčoch. Meno, klub, pozícia...
2. Gólová (6) - Tu sa nachádzajú dáta o góloch, strelách a o úspechoch jednotlivých hráčov.
3. Corsi (8) - Táto časť je jednou z najdôležitejších častí medzi atribútmi. Nachádzajú sa tu corsi štatistiky, ktoré hovoria o kvalitách jednotlivých hráčov.
4. Tímová (31) - Tímovou kategóriou sú všetky atribúty, ktoré priamo súvisia s závislosťou jednotlivých mužstiev na výkonoch hráčov.
5. Porovnávací (10) - V tejto časti sa nachádzajú všetky atribúty, ktoré porovnávajú jednotlivých hráčov s ostatnými hráčmi v iných tímoch.
6. Individuálna (20) - Tu sa nachádzajú dáta o individuálnych kvalitách jednotlivých hráčov v základných hokejových štatistikách.
7. Percentná (8) - Táto časť je o atribútoch ktoré vyjadrujú v percentách jednotlivé štatistiky v závislosti na svoj vlastný klub.
8. Zónová (7) - Zónovou kategóriou sú všetky dáta zaoberajúce sa vhadzovaniami v jednotlivých herných situáciách.

Následne boli jednotlivé atribúty analyzované z pohľadu korelácií, dáta boli čistené a upravované. Tu napríklad patrili procesy ako oprava formátov, zjednotenie merných jednotiek, úprava názvov atribútov, jednoznačné priradenie hráčov k jednotlivým sezónam. Následne na základe požiadaviek aplikácie, korelácií a vlastností atribútov boli vybrané atribúty, ktoré budú odstránené. Po týchto krokoch predspracovania nám zostala databáza popísaná 51 atribútmi.

Pre potreby uľahčenia procesov modelovania a interaktívnej vizualizácie boli dodatočne vytvorené ďalšie tzv. odvodené atribúty, ktoré predstavujú pomery alebo odpočty základných atribútov (napr. body na jeden zápas ako pomer gól/počet zápasov).

### B. Interaktívne vizualizácie a porovnanie hráčov

V rámci aplikácie sú k dispozícii 3 základné vizualizačné záložky. Prvým je rozšírenie bodového grafu, kde je možné poskytnúť dodatočnú informáciu o bodoch grafu ich farbou alebo veľkosťou (viď. Obr. 2). Pre praktickú implementáciu bola použitá knižnica plotly [9].



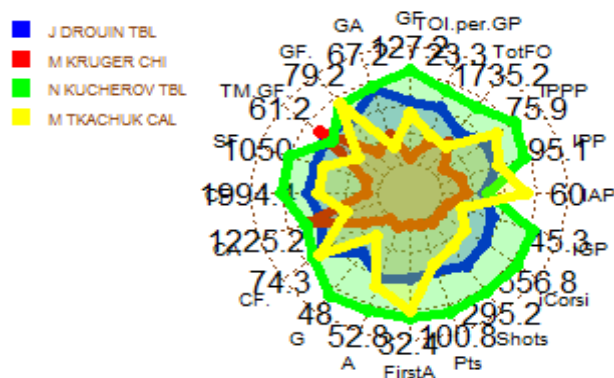
Obr. 2 Interaktívny bodový graf – závislosť atribútov TOI.per.GP (čas na ľade na zápas) a Off.per.Def (ofenzívne vs. defenzívne striedania) s dodatočnou informáciou CF (získané hodnoty Corsi štatistiky na ľade).

Používateľ si môže vybrať obdobie a časť sezóny, ktorú chce zobrazit'. Napríklad si môže vybrať sezónu „08/09“ a iba pozíciu „C“. Tak isto dôležitý je aj výber klubu, či ho mať vybrať, alebo ponechať výber na všetkých hráčoch naprieč klubmi. Následne prichádzajú na výber už požadované atribúty zobrazujúce sa na osiach X a Y. V tejto možnosti budú sprístupnené iba niektoré vyhovujúce atribúty. Tak isto používateľ dostane možnosť voľby vlastnej farby grafu na základe nejakého vybraného atribútu. Podobnú možnosť dostane aj pri výbere jednotlivých bodov grafu, kde sa bude meniť ich veľkosť. V týchto prípadoch bude tiež výber atribútov obmedzený a vybrať sa bude iba z tých vhodných na zobrazovanie. Samozrejme všetky tieto možnosti voľby sa budú nachádzať na jednej a tej istej obrazovke. Graf sa bude zobrazovať interaktívne. To znamená, že po každej prevedenej zmene od používateľa sa graf bude automaticky meniť.

<sup>1</sup> <https://puckalytics.com/#/>

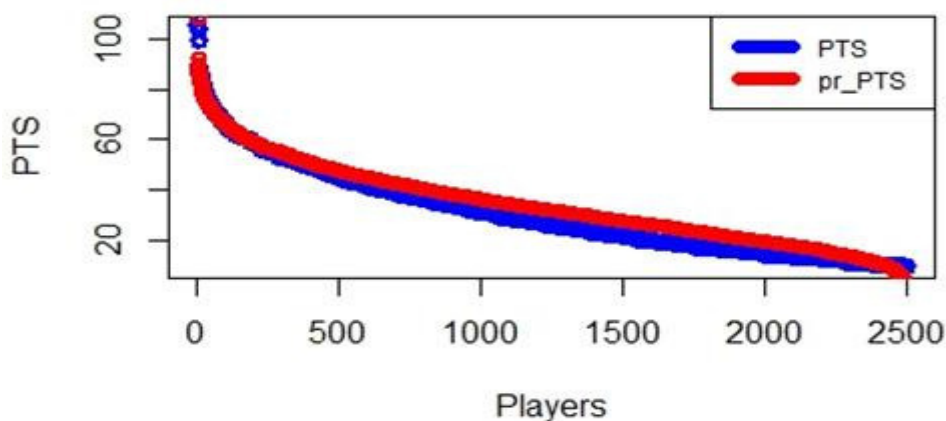
Výhodou tohto grafu a aj dôvodom prečo bol zvolený práve tento graf je to, že po zobrazení grafu je možnosť s grafom naďalej pracovať. Vo vytvorenom grafe je možnosť prejsť kurzorom na jednotlivý bod a okamžite sa zobrazia informácie o tomto bode, t.j., ktorý hráč sa tu nachádza a hodnoty majú jeho zvolené atribúty. Tiež existuje možnosť vybrať si z tohto grafu nejakú jeho časť a tiež aj priblížiť si tieto body. Výbornou pomôckou je taktiež aj mierka zobrazujúca sa na pozadí, ktorá dopomáha lepšiemu pochopeniu zobrazených údajov.

Na pavučinovom grafe (viď. Obr. 3) sa nám budú zobrazovať vybraní hráči, ktorých opäť dostane možnosť vybrať používateľ. Ku nim samozrejme vyberie jednotlivé sezóny a situácie na ľade v ktorých budeme zobrazovať hráčov. Ku týmto hráčom následne budú priradené zvolené atribúty. Týchto atribútov bude celkovo zobrazených 20. Atribúty, ktoré sú vybrané patria medzi najdôležitejšie hodnotiace štatistiky, preto sme sa rozhodli zvoliť práve tieto. Počet hráčov je maximálne 5 (kvôli prehľadnosti). Na vytvorenie tohto grafu sme potrebovali knižnicu FMSB<sup>2</sup>, ktorá sa používa na vytváranie podobných pavučinových (radarových) grafov.



Obr. 3 Pavučinový graf porovnávajúci jednotlivých hráčov, ich prednosti a slabé stránky medzi sebou.

Ďalšia záložka aplikácie využíva rovnaký typ grafu, avšak vizualizuje najpodobnejších hráčov ku zvoleným štatistikám v pavučinovom grafe, t.j., používateľ si vyberie niekoľko atribútov, ktorých počet je obmedzený na 5. Po kliknutí na „Vyhľadať hráčov“ dostane používateľ hráčov ktorí sa najviac približujú súboru daných hodnôt a zobrazí ich charakteristiku v grafe. Cieľom môže byť nájsť ideálneho hráča pre danú pozíciu alebo funkciu (úlohu) v tíme, napríklad ak hľadáme náhradu za hráča, ktorý zo zostavy vypadol. Vo výsledku tento graf vyzerá presne tak ako v predchádzajúcom prípade, akurát proces jeho tvorby je rozdielny.



Obr. 4 Prediktívny model pre bodové hodnotenie hráčov (PTS – reálne počty, pr\_PTS – predikované hodnoty).

### C. Predikcia

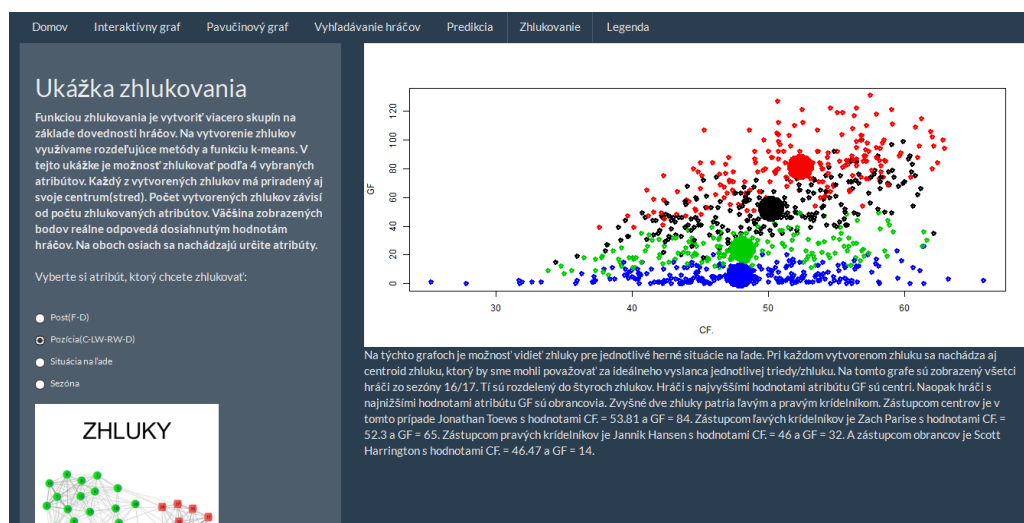
Z týchto dát, ktoré máme k dispozícii je taktiež možné predikovať nejaké hodnoty atribútov do budúcnosti. Táto časť aplikácie je minoritnou časťou a slúži iba na ukážku aké možnosti sa s týmito dátami dajú vytvárať. Vytvorili sme niekoľko predikcií rôznych atribútov a do výslednej aplikácie

<sup>2</sup> <https://cran.r-project.org/web/packages/fmsb/index.html>

boli vybraté štyri, ktoré sú pravdepodobne najzaujímavejšie. Cieľom je predikovať hodnoty z prvých 5 sezón a porovnať ich so zvyšnými 5 sezónami. Hodnoty sme si dopredu upravili tak, že sme odstránili hráčov s najnižšími hodnotami a celkovo sme vybrali iba 2500 najlepších hráčov v danom atribúte. Príklad porovnanie výsledku navrhnutého prediktora pre počet bodov hráča v nasledujúcej sezóne je na Obr. 4, pričom tu bol prediktor založený na kombinácii atribútov TotFO+Shots+TM.GF.+IGP. Presnejšie vyhodnotenie výsledkov ukázalo, že predikcie v podstate predpokladajú pomerné získavanie bodov pri každom pobyte na ľade. Skutočný model však má viac vstupov, ktoré nie je jednoduché ohodnotiť a odhadnúť. Napriek tomu, aspoň približné odhady môžu prispieť k lepšiemu pochopeniu trendov v tímoch.

#### D. Zhukovanie

V rámci funkcie zhukovanie je k dispozícii metóda k-means (k-stredov), ktorá na základe zvolenej množiny atribútov roztriedi hráčov do zvoleného počtu (k) zhukov. Ku každému zhuku priradíme bolo nájdené centrum (stred), ktorý je jeho reprezentantom. Zhuky sú následne prezentované vo forme bodového grafu, kde každý zhuk je vykreslený inou farbou a k nemu je vyznačený aj centroid. Príklad zobrazenia zhukov je na Obr. 5, kde je možné vidieť aj reálne rozhranie aplikácie.



Obr. 5 Rozhranie aplikácie pre kartu (záložku) zhukovania.

## V. ZÁVER

V rámci tohto príspevku sme popísali návrh, základné prvky a implementáciu aplikácie pre vizualizáciu a analýzu hokejových štatistík na dátach o hráčoch zámorskej hokejovej ligy NHL. Vytvorená aplikácia poskytuje Rshiny rozhranie, rôzne vizualizačné prvky, ako aj ukážku použitia vyhľadávania špecifických hráčov ku zvoleným atribútom, či predikciu a zhukovania nad dátami. Použité koncepty sú zovšeobecniteľné a po napojení dátových zdrojov z iných súťaží, či pri spracovaní dátových zdrojov z príbuzných tímových športov, môže byť táto aplikácia vhodná aj pre ďalšie prípady použitia.

## POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt "Centrum informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy" (kód ITMS:26220120020), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## REFERENCIE

- [1] J. Paralič, *Objavovanie znalostí z databáz*. Košice: Elfa, 2003.
- [2] CORSICA Hockey. Dostupné z: <http://www.corsica.hockey>
- [3] SPORTING Charts: NHL Ice Track. Dostupné z: <https://www.sportingcharts.com/nhl/icetrack/>
- [4] HockeyAbstract: PlayerUsageCharts. Dostupné z: <http://www.hockeyabstract.com/playerusagecharts>
- [5] HockeyStats.ca: Games. Dostupné z: <http://hockeystats.ca/game/2014020091>
- [6] QuantHockey.com: TAMPA BAY Lightning in 2016-17 RegularSeason [online]. Dostupné z: <http://www.quanthockey.com/nhl/teams/tampa-bay-lightning-players-2016-17-nhl-stats.html>
- [7] TheHockeyNinja.com: Štatistiky, hokej, dáta, analýzy. Dostupné z: <http://www.thehockeyninja.com>
- [8] Rshiny - <https://shiny.rstudio.com/>
- [9] Plotly - <https://plot.ly/>

# Výpočet nákladov na prenos elektriny

<sup>1</sup> Vladimír GÁLL, <sup>2</sup> Alexander MÉSZÁROS

<sup>1,2</sup> Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenska republika

<sup>1</sup> vladimir.gall@student.tuke.sk, <sup>2</sup> alexander.meszaros@tuke.sk

**Abstrakt** — tento príspevok sa zaoberá ekonomikou vedení a prináša metodiku výpočtu ročných a merných nákladov vedenia, ktoré závisia hlavne od investičných nákladov a od činných strát na vedení. Cieľom príspevku je spresniť výpočet ročných i merných nákladov na prenos elektriny. Prvá časť sa zaoberá porovnaním pôvodnej rovnice a novej rovnice pre ročné a merné náklady vedenia. V druhej časti, pri skúmaní vplyvu vybraných faktorov, sú sledované zmeny zvodu izolátorov na jednotku dĺžky vedenia a teploty okolia v nadväznosti na novú rovnicu pre ročné a merné náklady.

**Kľúčové slová** — ekonomika vedenia, ročné náklady, merné náklady, parametre vedenia

## I. ÚVOD

Medzi kľúčové problémy energetických technológií patria otázky prenosu elektriny, jej prenosových strát a hospodárnosti vedení, keďže vzhľadom na technické vlastnosti v súčasnosti používaných prenosových vysokonapäťových systémov dochádza pri prenose na väčšie vzdialenosti k výrazným stratám energie [1].

Hospodárnosť dopravy elektriny závisí v podstate od dvoch faktorov, a to od investičných nákladov na vedenie a od nákladov na činné straty pri prenose.

Pri rozhodovaní o investíciách do vedení je potrebné zohľadniť všetky veličiny ktoré majú vplyv na hospodárnosť prenosu elektrickej energie a tým zvýšiť presnosť výpočtu jeho celkových ročných nákladov a podobne i merných nákladov [2], [3].

Čím je vyššie napätie prenosu, tým je nižší prenášaný prúd a teda aj joulove straty, ktoré sú úmerné kvadrátu prúdu. Straty na izolátoroch sa zvýšia, pretože sú úmerné kvadrátu prevádzkového napätia [4], [5], a tým sa samozrejme zvýšia aj náklady na izoláciu vedení. V prípade vonkajších vedení sú potrebné väčšie vzdialenosti medzi vodičmi, uzemneným stožiarom a zemou. To vedie k požiadavke na väčšie rozmery stožiarov, preto sa zvyšujú náklady na výstavbu stožiarov a dochádza k nárastu investičných nákladov na vedenia. Čím je vyšší prierez vodiča, prípadne sú použité zväzkové vodiče s vyšším počtom vodičov, tým sú nižšie joulove straty vo vodiči a zníži sa aj prevádzková teplota vedenia. Zvýšenie prierezu vodiča alebo zvýšenie počtu vodičov u zväzkových vodičov siete znižuje joulove straty, ale zvyšuje náklady na vodič a teda dochádza k nárastu investičných nákladov na vedenie. Vyššia hmotnosť vodičov spôsobuje zvýšenie záťaž na stožiare a zároveň je potrebné zohľadniť aj tvorbu námrazy, čiže aj tzv. námrazovú triedu. Zväčšujúce sa rozpätie medzi susednými stožiarimi má tiež zásadný vplyv na zvýšenie zaťaženia jednotlivých stožiarov. Na druhej strane zväčšenie dĺžky rozpätia znižuje celkový počet stožiarov požadovaných pre celkovú dĺžku prenosového vedenia. Výsledná zvýšená záťaž na stožiare si vyžaduje ich mohutnejšiu konštrukciu a dochádza tiež k nárastu ich investičných nákladov [6], [7].

## II. ODVODENIE ROVNICE VÝROBNÝCH NÁKLADOV

Najdôležitejšími faktormi, ktoré ovplyvňujú hospodárnosť prenosu elektrickej energie vo vedeniach sú investičné náklady vedení, ktoré majú charakter stálych nákladov ( $N_{st}$ ) počas roka, čiže nezávisia od prenášaného výkonu; a náklady na straty pri prenose, ktoré sa v závislosti od zaťaženia vedenia menia. Tieto sa v ekonomike označujú ako pohyblivé náklady ( $N_{po}$ ).

Pre stále ročné náklady na prenos elektriny  $N_{st}$  platí zápis

$$N_{st} = N_{IV} \cdot k = {}_1N_{IV} \cdot l \cdot k \quad (\text{€} \cdot \text{rok}^{-1}) \quad (1)$$

kde  ${}_1N_{iV}$  sú tzv. merné investičné náklady vedenia, ktoré sa vyjadrujú spravidla na jednotkovú dĺžku vedenia v ( $\text{€}\cdot\text{km}^{-1}$ ),  $l$  je dĺžka príslušného vedenia v (km),  $N_{iV}$  sú celkové investičné náklady vedenia v (€),  $k$  je tzv. ročná kvóta, ktorá vyjadruje pomerné stále náklady vedenia ( $\text{rok}^{-1}$ ).

Tento koeficient vyjadruje prepočet stálych nákladov (investičných a stálej časti prevádzkových) na jeden priemerný rok životnosti investície. Môže sa zapísať napr. v tvare

$$k = a_{T_z} + p_u + p_{ost} \quad (\text{rok}^{-1}) \quad (2)$$

kde  $a_{T_z}$  je pomerná anuita počítaná pre životnosť  $T_z$  vedenia, určujúca ročnú splátku investície (zahrňuje úmor a úroky),  $p_u$  sú pomerné ročné náklady na opravu a údržbu vedenia a  $p_{ost}$  sú prípadné ďalšie prevádzkové náklady stáleho charakteru nezávislé od zaťaženia vedenia. Náklady na opravu a údržbu sú taktiež nezávislé od zaťaženia, a keďže spravidla súvisia s výškou investičných nákladov, v praxi sa často vyjadrujú ako určité percento z nich.

Pohyblivé ročné náklady na prenos elektriny sú ovplyvnené v určujúcej miere výškou joulových strát na vedení:

$$N_{po} = 3 \cdot {}_1R_V \cdot l \cdot I_m^2 \cdot \tau_\Delta \cdot c \cdot 10^{-3} \quad (\text{€}\cdot\text{rok}^{-1}) \quad (3)$$

kde  ${}_1R_V$  je rezistancia vedenia jednotkovej dĺžky v ( $\Omega\cdot\text{km}^{-1}$ ),  $I_m$  je ročné maximum prenášaného prúdu v (A),  $\tau_\Delta$  je tzv. čas plných strát v ( $\text{h}\cdot\text{rok}^{-1}$ ),  $c$  sú náklady na jednotkové množstvo prenesenej elektrickej energie (zjednodušene cena elektrickej energie) ( $\text{€}\cdot\text{kWh}^{-1}$ ), násobenie s konštantou  $10^{-3}$  vyjadruje prepočet Wh na kWh.

Celkové ročné výrobné náklady sa určia ako súčet stálych (1) a pohyblivých (3) nákladov, po vyjadrení maxima prenášaného prúdu  $I_m$  (A) pomocou maxima prenášaného výkonu  $P_m$  (kW), vzťahom

$$N_v = {}_1N_{iV} \cdot l \cdot k + 3 \cdot {}_1R_V \cdot l \cdot \left( \frac{P_m}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} \right)^2 \cdot \tau_\Delta \cdot c \cdot 10^{-3} \quad (\text{€}\cdot\text{rok}^{-1}) \quad (4)$$

kde  $U$  je menovité napätie vedenia v (kV),  $\cos\varphi$  je účinník.

V niektorých prípadoch je potrebné skúmať aj merné výrobné náklady, čiže náklady na jednotkové množstvo prenesenej elektrickej energie, ktoré po úprave možno vyjadriť nasledovne

$$n_v = \frac{N_v}{A} = \frac{{}_1N_{iV} \cdot l \cdot k}{P_m \cdot \tau} + \frac{{}_1R_V \cdot l \cdot P_m \cdot \tau_\Delta \cdot c}{\tau \cdot U^2 \cdot \cos^2\varphi} \cdot 10^{-3} \quad (\text{€}\cdot\text{kWh}^{-1}) \quad (5)$$

kde  $A$  je množstvo prenesenej elektrickej energie vedením za príslušný rok v ( $\text{kWh}\cdot\text{rok}^{-1}$ ),  $\tau$  je čas využitia maxima v ( $\text{h}\cdot\text{rok}^{-1}$ ).

Takéto vyjadrenie celkových ročných nákladov a merných nákladov sa nachádza v odbornej literatúre, napr. [2], [6]. Nedostatkom tohto vyjadrenia je, že nezohľadňuje prípadný vplyv prevádzkovej teploty vedenia na výšku prevádzkových nákladov a uvažuje iba s joulovými stratami na pozdĺžnej rezistancii vodiča [8]. Pričom pri vyšších napäťových hladinách (vvn, zvn), ktoré používajú prenosové vedenia, môžu byť významné aj činné straty na zvodoch izolátorových reťazcov.

Pri určení vplyvu prevádzkovej teploty na rezistanciu vodiča sa vychádza zo vzťahu [9], [10]

$$R_g = R_{v0} \cdot \left( 1 + \alpha \cdot (g - g_0) + \beta \cdot (g - g_0)^2 \right) \quad (\Omega) \quad (6)$$



kde  $R_g$  je rezistancia vodiča pri teplote  $\vartheta$ ,  $R_{V0}$  je rezistancia vodiča pri základnej teplote  $\vartheta_0$  (väčšinou uvažuje sa 20 °C),  $\alpha$  a  $\beta$  sú teplotné koeficienty odporu (°C<sup>-1</sup>, °C<sup>-2</sup>). Druhý člen rovnice (6) –  $\beta \cdot (\vartheta - \vartheta_0)^2$  – v prípade AlFe lán je možné zanedbať do 100 °C.

Pri výpočte strát, ktoré vznikajú na zvide izolátorov  $G_i$  (S) sa uvažuje s časom prevádzky vedenia  $T_{pr}$  (h·rok<sup>-1</sup>), a s napätím  $U$  (kV), ktoré je na začiatku vedenia podľa gama náhradného článku [11] [12] [13]. Rovnicu (4) pre ročné náklady v zmysle uvedených skutočností možno doplniť na tvar

$$N'_v = N_{iv} \cdot l \cdot k + U^2 \cdot {}_1G_i \cdot l \cdot T_{pr} \cdot c_1 \cdot 10^3 + {}_1R_{V0} \cdot l \cdot (1 + \alpha \cdot (\vartheta - \vartheta_0)) \cdot \left( \frac{P_m}{U \cdot \cos \varphi} \right)^2 \cdot \tau_{\Delta} \cdot c_2 \cdot 10^{-3} \quad (\text{€} \cdot \text{rok}^{-1}) \quad (7)$$

V rovnici (7) vystupujú rôzne číselné hodnoty nákladov  $c_1$  a  $c_2$ . Pre výpočet  $c_1$  sa uvažuje čas prevádzky  $T_{pr}$ , pre výpočet  $c_2$  je nutné uvažovať s časom plných strát  $\tau_{\Delta}$ .

Rovnica (5) pre merné náklady nadobudne tvar

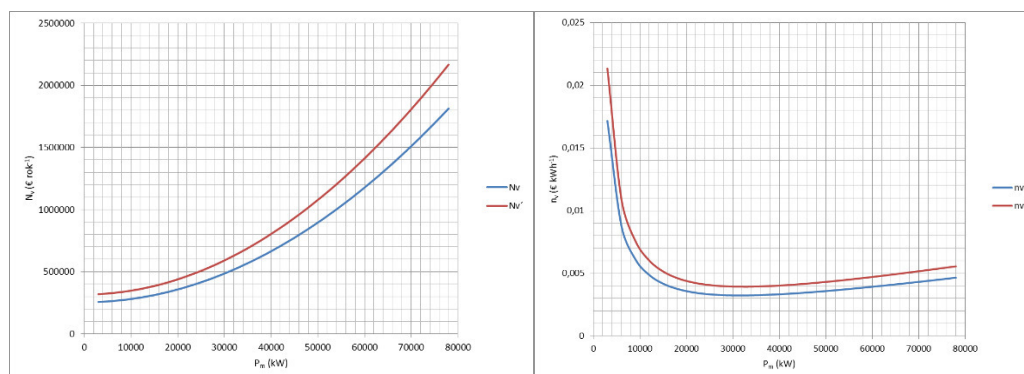
$$n'_v = \frac{{}_1N_{iv} \cdot l \cdot k + U^2 \cdot {}_1G_i \cdot l \cdot T_{pr} \cdot c_1 \cdot 10^3}{P_m \cdot \tau} + \frac{{}_1R_{V0} \cdot l \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta \vartheta) \cdot P_m \cdot \tau_{\Delta} \cdot c_2 \cdot 10^{-3}}{\tau \cdot U^2 \cdot \cos^2 \varphi} \quad (\text{€} \cdot \text{kWh}^{-1}) \quad (8)$$

Pri výpočte boli použité vstupné hodnoty, ktoré sú uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1  
 Uvažované vstupné parametre vedenia

napätie vedenia	$U$	110 kV
čas prevádzky	$T_{pr}$	7008 h.rok <sup>-1</sup>
čas využitia maxima	$\tau$	5000 h.rok <sup>-1</sup>
čas plných strát	$\tau_{\Delta}$	3500 h.rok <sup>-1</sup>
investičné náklady na jednotku dĺžky	${}_1N_i$	15000 €·km <sup>-1</sup>
ročná kvóta	$k$	0,17 rok <sup>-1</sup>
dĺžka	$l$	100 km
účinník	$\cos \varphi$	0,8
základná teplota	$\vartheta_0$	20 °C
prevádzková teplota	$\vartheta$	64 °C
teplotný súčiniteľ odporu	$\alpha$	4,04·10 <sup>-3</sup> °C <sup>-1</sup>
rezistancia na jednotku dĺžky	${}_1R_{V0}$	0,0384 Ω·km <sup>-1</sup>
zvod izolátorov na jednotku dĺžky	${}_1G_i$	5·10 <sup>-8</sup> S·km <sup>-1</sup>
stála zložka nákladov	$c_{st}$	13,774 €·kW <sup>-1</sup> ·rok <sup>-1</sup>
pohyblivá zložka nákladov	$c_{po}$	0,1448 €·kWh <sup>-1</sup>

Na obr. 1 sú porovnané celkové ročné náklady  $N_v$  na prenos elektriny podľa vzťahu (4) a (7), a merné náklady  $n_v$  na prenos 1 kWh elektriny podľa vzťahu (5) a (8) v závislosti od prenášaného výkonu.



Obr. 1 Ročné náklady a merné náklady na prenos elektriny v závislosti od zaťaženia vedenia

Pri rôznom zaťažení vedenia u celkových ročných nákladov  $N_v$ , ako aj u merných nákladov  $n_v$  sme uvažovali rovnice, ktoré zohľadňujú zvod izolátorov na jednotku dĺžky  ${}_1G_i$  alebo

zvýšenie prevádzkovej teploty  $\vartheta$ . Pri pozorovaní percentuálnej zmeny  $z_C$  sme uvažovali s oboma javmi. Pri pozorovaní percentuálnej zmeny  $z_G$  sme uvažovali so zvodom izolátorov na jednotku dĺžky  ${}_1G_i$ . Pri pozorovaní percentuálnej zmeny  $z_\vartheta$  sme uvažovali so zvýšením teploty  $\vartheta$ . Vypočítané hodnoty percentuálnych zmien  $z_C$ ,  $z_G$ ,  $z_\vartheta$  sú rovnaké pre ročné náklady  $N_v$  a pre merné náklady  $n_v$  a sú uvedené v tabuľke 2.

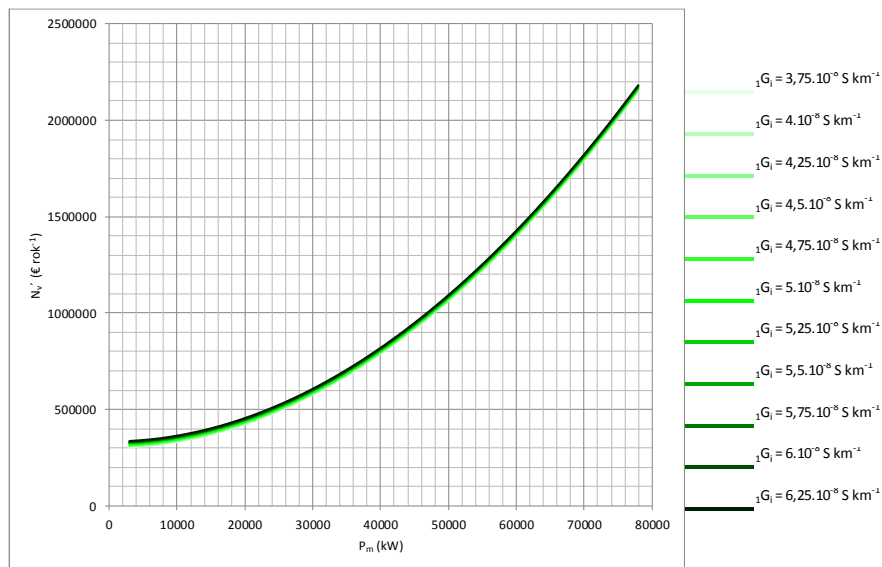
Tabuľka 2  
Vypočítané hodnoty percentuálnych zmien pre jednotlivé rovnice a zaťaženia

$P_m$ (kW)	$z_C$ (%)	$z_G$ (%)	$z_\vartheta$ (%)
15000	23,35479	19,90477	3,45002
30000	21,70395	12,81751	8,88644
45000	20,59205	8,04397	12,54808
60000	19,94992	5,28724	14,66268
75000	19,57324	3,67011	15,90313

### III. SKÚMANIE VPLYVU VYBRANÝCH FAKTOROV

Z odvodených vzťahov (7) a (8) je zrejmé, že ktoré veličiny (viď aj tabuľku 1) ovplyvňujú výšku prenosových nákladov elektriny. Číselné hodnoty niektorých z nich sú dané presne a jednoznačne, iné sa môžu meniť v závislosti od prevádzkových podmienok, prípadne sa nedajú presne určiť.

Na nasledujúcom obr. 2 je ukázaný vplyv zvodu izolátorov na jednotku dĺžky  ${}_1G_i$  pre 110 kV vedenie o dĺžke 100 km na ročné náklady  $N_v'$ , v závislosti od prenášaného výkonu  $P_m$  podľa vzťahu (7), kde sa uvažovalo s vychýlením  $d$  v rozsahu  $\pm 25\%$  po  $5\%$  zo základnej hodnoty zvodu izolátorov na jednotku dĺžky  ${}_1G_i$  uvedenú v tabuľke 1.



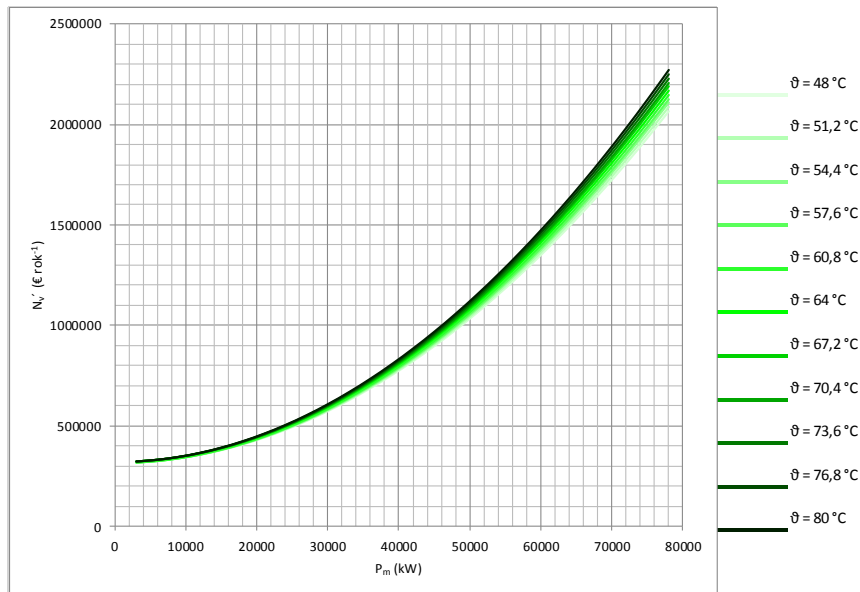
Obr. 2 Vplyv zvodu na jednotku dĺžky na celkové ročné náklady prenosu

Vypočítané hodnoty percentuálnych zmien  $z$  sú rovnaké pre ročné náklady  $N_v'$  a pre merné náklady  $n_v$  a sú uvedené v tabuľke 3.

Tabuľka 3  
Vypočítané hodnoty percentuálnych zmien pre rôzne odchýlky zvodu izolátorov na jednotku dĺžky a zaťaženia

$d$ (%)	5	10	15	20	25
$P_m$ (kW)			$z$ (%)		
15000	0,80680989	1,61361977	2,42042966	3,22723955	4,03404944
30000	0,52658561	1,05317121	1,57975682	2,10634242	2,63292803
45000	0,33351992	0,66703985	1,00055977	1,33407969	1,66759961
60000	0,2203937	0,44078739	0,66118109	0,88157478	1,10196848
75000	0,15346683	0,30693365	0,46040048	0,61386731	0,76733413

Na nasledujúcom obr. 3 je ukázaný vplyv teploty  $\vartheta$  pre 110 kV vedenie o dĺžke 100 km na ročné náklady  $N_v'$  v závislosti od prenášaného výkonu  $P_m$  podľa vzťahu (7), kde sa uvažovalo s vychýlením  $d$  v rozsahu  $\pm 25\%$  po  $5\%$  zo základnej hodnoty teploty  $\vartheta$  uvedenej v tabuľke 1.



Obr. 3 Vplyv zvodu na jednotku dĺžky na celkové ročné náklady prenosu

Vypočítané hodnoty percentuálnych zmien  $z$  sú rovnaké pre ročné náklady  $N_v'$  a pre merné náklady  $n_v'$  a sú uvedené v tabuľke 4.

Tabuľka 4

Vypočítané hodnoty percentuálnych zmien pre rôzne odchýlky teploty a zaťaženia

$d$ (%)	5	10	15	20	25
$P_m$ (kW)			$z$ (%)		
15000	0,19471081	0,38942163	0,58413244	0,77884325	0,97355407
30000	0,50833245	1,0166649	1,52499735	2,0333298	2,54166224
45000	0,72440785	1,44881571	2,17322356	2,89763141	3,62203927
60000	0,85101655	1,70203311	2,55304966	3,40406622	4,25508277
75000	0,92591982	1,85183964	2,77775946	3,70367928	4,6295991

#### IV. ZÁVER

V prvej časti sme porovnali pôvodnú a novú rovnicu na výpočet ročných nákladov  $N_v$  a merných nákladov  $n_v$ . U ročných nákladov  $N_v$  je rozdiel viditeľný pri vyššom zaťažovacom výkone  $P_m$ . U merných nákladov  $n_v$  je rozdiel viditeľný pri všetkých hodnotách zaťažovacieho výkonu  $P_m$ . Pri skúmaní vybraných parametrov sme uvažovali iba s novou rovnicou, kde je ukázaný vplyv zvodu izolátorov na jednotku dĺžky  ${}_1G_i$  a prevádzkovej teploty  $\vartheta$  pre ročné náklady  $N_v'$  a merné náklady  $n_v'$ . V súčasnosti dochádza k zmene prírodných podmienok a predpokladá sa, ďalší nárast teploty [1]. To znamená, že budú menej chladné zimy ale teplejšie letá. Zároveň sa zmení aj charakter spotreby elektrickej energie, keď v zime sa bude síce menej kúriť ale v lete sa elektrická energia bude využívať pre pohon klimatizačných jednotiek na chladenie budov. Skúsenosti z krajín, kde veľká časť spotreby elektrickej energie je viazaná na pohon klimatizačných jednotiek ukazujú, že nemožno všetky problémy s tým spojené vyriešiť napríklad cez smartgrid v oblasti energetických sústav [15]. Zároveň prenosové systémy sú zraniteľné v prípade extrémnych atmosférických javov, čo môže v prípade poruchy destabilizovať elektrizačnú sústavu a spôsobiť výpadok dodávky elektrickej energie pre rozsiahle oblasti [16] [17] [18]. Na základe toho je tu predpoklad využitia nových rovníc pre hospodárnosť vedenia za predpokladu zmeny prenosových parametrov vedení v dôsledku nárastu prevádzkovej teploty. Zoberme do úvahy aj celkovú prestavbu energetiky, ktorá nesúvisí len s diverzifikáciou energetických zdrojov, prehodnocovaním celkovej siete energetických zdrojov, ale napríklad aj s nutnosťou prehodnotiť celkovú sústavu prenosových

sietí.

#### POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore projektu Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied VEGA č. 1/0132/15.

#### LITERATÚRA

- [1] P. Staněk, P. Ivanová, "Súčasná tendencie ekonomickej globalizácie", Bratislava 2015, ISBN 978-80-970135-7-8
- [2] M. Kolcun, L. Beňa, A. Mészáros, "Optimalizácia prevádzky elektrizačnej sústavy", Technická univerzita Košice, 2009, ISBN 978-80-553-0323-9
- [3] F. K. Kirsetn, E. A. Loew, "Transmission line design", IEEE, Presented in journal A. I. E. E.
- [4] M. Divya, N. Raut, P. P. Gupta, "Comparative Analysis of Transmission Loss Allocation Methods with Quantum Approach of Power Fractions", IEEE, 2016, ISBN 978-1-5090-0901-5
- [5] Y. Takamizawa, H. Nakatani, S. Iwamoto, "A novel index on transmission renewal planning considering transmission loss and voltage quality", Scopus, 2012, ISBN 978-146732727-5
- [6] A. Mészáros, "Ekonomika elektroenergetiky", Technická univerzita Košice, 2009, ISBN 978-80-553-0323-9
- [7] T. S. Kishore, S. K. Singal, "Optimal economic planning of power transmission lines", ScienceDirect, 2014
- [8] M. Zafran, M. N. Arbab, I. Ahmad, M. U. K. Khan, "A case study on alleviating electric transmission congestion musing dynamic thermal rating methodology", Scopus, 2014, ISBN 978-147996554-0
- [9] P. Novák, "Elektrické teplo", Technical University of Košice, 2010, ISBN 978-80-89284-48-1
- [10] J. Verboomen, D. Van Hertem, P. H. Schavemaker, F. J. C. M. Spaan, J. M. Delincé, R. Belmans, W. L. Kling, "Phase shifter coordination for optimal transmission capacity using particle swarm optimization", Scopus, 2008
- [11] L. Varga, S. Ilenin, P. Leščinský, "Prenos a rozvod elektrickej energie", Technická univerzita Košice, 2003
- [12] E. A. Loew, "Economy in the Choice of Line Voltages and Conductor Sizes for Transmission Lines", IEEE, Presented in journal A. I. E. E.
- [13] F. Nakatani, Y. Mori, T. Ito, S. Iwamoto, Y. Suetsugu, T. Higashitani, "Economic power flow adjustment technique using series capacitor and generator output adjustment for generation configuration change", Scopus, 2015, ISBN 978-150901238-1
- [14] J. Chlebný, P. Beneš, J. Langer, J. Král, M. Martinásková, "Automatizace a automatizační technika", Computer Press Brno, 2014
- [15] P. Staněk, P. Ivanová, "Štvrtá priemyselná revolúcia a piaty civilizačný zlom", Bratislava 2016, ISBN 987-80-970135-8-5
- [16] P. Staněk, P. Ivanová, "Európska únia na križovatke postrehy a inšpirujúce riešenia", Bratislava 2016, ISBN 978-80-8168-482-1
- [17] C. R. Dorf, "Energy, resources and policy", Addison Wesley Publishing Company Inc., 1978, ISBN 0-201-01673-7
- [18] R. Moxley, D. Doležilek, "Case studies: Synchrophasor WAMPAC maximizes stability and economy", IEEE, 2011, ISBN 978-1-84919-577-7

# Elektrické a magnetické polia v elektroenergetike

<sup>1</sup>Alexander MÉSZÁROS, <sup>2</sup>Ján ZBOJOVSKÝ, <sup>3</sup>Marek MAJERSKÝ

<sup>1,2,3</sup>Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>alexander.meszaros@tuke.sk, <sup>2</sup>jan.zbojovsky@tuke.sk,  
<sup>3</sup>marek.majersky@student.tuke.sk

**Abstrakt**—Príspevok sa zaoberá problematikou matematického modelovania elektrických a magnetických polí vonkajšieho vvn vedenia v softvérovom prostredí ANSYS Maxwell. Na analýzu bol vybraný model jednoduchého trojfázového elektrického vedenia (1 x 400 kV) s konfiguráciou nosného stožiaru typu YPSILON a vodorovným usporiadaním vodičov. Pri simulácii sa uvažoval fázový vodič AlFe 450/52 a zemný vodič AlFe 180/59, menovitý fázový prúd bol 821 A. V práci je znázornené rozloženie elektrického a magnetického poľa v blízkosti vodičov vedenia. Následne boli určené vo výške 1,8 m nad zemským povrchom maximálne hodnoty intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie pod vedením, pri menovitom zaťažení vedenia. Limitné hodnoty podľa tabuľky 1 neboli prekročené.

**KLúčové slová**—vonkajšie vedenie, elektrické pole, magnetické pole, modelovanie, ANSYS Maxwell

## I. ÚVOD

V súčasnej dobe v oblasti diaľkových prenosov elektrickej energie je možné pozorovať v celosvetovom meradle dve protichodné tendencie. Prvou je nárast prenosovej schopnosti existujúcich a dostatočné dimenzovanie novonavrhnutých vonkajších vedení. Na druhej strane stále viac krajín striktné trvá na zásadnom potlačení niektorých javov, ktoré sa vyskytnú pri prevádzke týchto vedení a môžu nepriaznivo ovplyvňovať okolité prostredie. Jedným z nich, ktorý sa intenzívne sleduje, je elektromagnetické pole v okolí vedení. Nemalé úsilie je venované jednak stanoveniu jeho najvyšších prípustných charakteristických hodnôt a taktiež možnostiam ich konkrétneho určenia.

Nízkofrekvenčné elektromagnetické polia môžu pôsobiť nielen na blízke elektrické zariadenia (napr. telefónne vedenia) a takto ovplyvňovať kvalitu ich prevádzky, ale môžu vplývať na aj živé organizmy nachádzajúce sa v blízkosti silových vedení.

## II. VPLYV ELEKTROMAGNETICKÝCH POLÍ NA OKOLIE

Interakcia nízkofrekvenčných elektromagnetických polí so živou hmotou sa vo svete študuje od sedemdesiatych rokov minulého storočia. Hlavným dôvodom týchto štúdií je ozrejmiť, či a za akých podmienok môžu predstavovať tieto polia nebezpečenstvo pre živé organizmy a spôsobiť prípadne rôzne druhy onemocnení (hlavne ochorení rakovinového charakteru), či iné závažné poruchy činností.

Koncom sedemdesiatych rokov bola publikovaná epidemiologická štúdia, ktorá dávala do súvislosti zvýšený výskyt leukémie u detí žijúcich v blízkosti vonkajších vedení vvn v Denveru (USA) [1], [2], [3]. Táto štúdia podporovala veľmi rozšírený, avšak vedecky nepodložený názor, že dlhodobý pobyt v okolí zdrojov elektromagnetického poľa môže byť za istých okolností pre človeka dosť nebezpečný. Hoci čoskoro sa ukázalo, že predložené závery nie sú celkom korektné (boli použité zavádzajúce vstupné údaje a výsledky boli interpretované nesprávnym spôsobom), predmetný príspevok predsa bol významný tým, že inicioval v tejto oblasti ďalší výskum.

Do súčasnosti boli na uvedenú tému vo svetovej literatúre publikované stovky článkov. Ich obsah je zameraný na mnoho čiastkových otázok od ovplyvňovania biologickej hmoty na molekulárnej úrovni cez problematiku genetických zmien až po vplyv vonkajších polí na výskyt rôznych onemocnení ľudí a zvierat.

Je všeobecne známe, že na živú hmotu môžu vonkajšie nízkofrekvenčné elektromagnetické polia pôsobiť prostredníctvom nasledujúcich veličín:

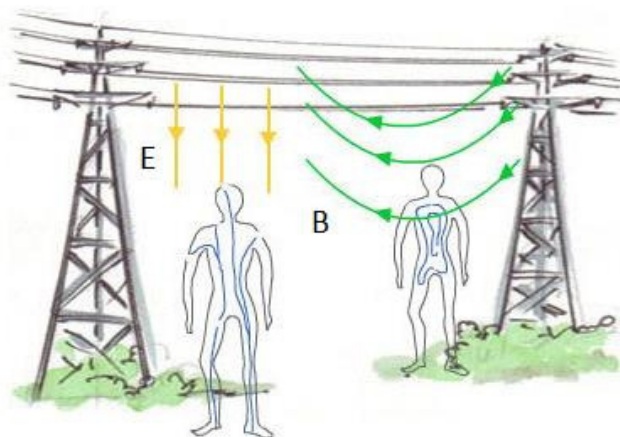
- elektrická zložka poľa,
- magnetická zložka poľa,
- energia poľa.

Dôležité však môžu byť aj niektoré nepriame mechanizmy.

Interakcia živej hmoty s elektrickým poľom spôsobuje tok voľných elektrických nábojov (elektrický prúd) a polarizáciu viazaných nábojov (vytvorenie nových elektrických dipólov a zmenu orientácie dipólov už existujúcich vnútri tkanív). Rozsah týchto javov závisí od elektrických vlastností tkanív (hlavne od ich konduktivity a permitivity) a tiež od frekvencie poľa. Vonkajšie polia vyvolávajú taktiež povrchové náboje s následnými prúdmi, rozloženie ktorých závisí od vonkajších podmienok, a taktiež na veľkosti, tvaru a polohe organického materiálu v poli. Celkovo však možno konštatovať, že živá hmota vonkajšie elektrické pole výrazne redukuje, merania ukazujú, že intenzita elektrického poľa v živom tkanive je až o 8 rádov nižšia, ako v okolitom vzduchu, a jej najvyššia hodnota v živom organizme nepresahuje 0,001 V/m [1].

Interakcia živého tkaniva s časovo premenným magnetickým poľom vedie k vzniku indukovaného elektrického poľa a k cirkulačným prúdom, veľkosť ktorých závisí od veľkosti primárneho magnetického poľa, od geometrie uzavretej slučky a od fyzikálnych vlastností tkaniva. Najsilnejšie elektrické pole sa indukuje v slučkách s veľkými geometrickými rozmermi, ale ani v týchto prípadoch nepresahujú jeho hodnoty 0,02 V/m. Predmetom záujmu v tejto oblasti však môže byť tzv. stochastická rezonancia, čo je jav, keď za určitých podmienok môže superpozícia vstupného signálu a náhodného malého šumu vyvolať prudký nárast výstupného signálu. Aj keď tento jav už bol zistený v určitých bunkách živých organizmov, nie je doteraz jasné, či a za akých okolností môže jej vplyv predstavovať zdravotné riziko.

Na obr. 1 sú naznačené siločiarly elektrického a magnetického poľa, taktiež prúdy spôsobené elektrickým poľom smerujúce do zeme, resp. cirkulačné prúdy vyvolané magnetickým poľom.



Obr. 1 Elektrické a magnetické pole v okolí vonkajšieho vedenia

V istej miere bola pozorovaná schopnosť živých tkanív absorbovať energiu poľa, ale iba v nepatrnom množstve. Dôsledky sú pri použití súčasných výskumných metód prakticky nepozorovateľné.

Na základe doterajšieho výskumu a množstva kritérií určených predovšetkým biológmi a lekármi sa zdá, že vplyv vonkajších elektromagnetických polí nízkej frekvencie je na činnosť živých organizmov malý. Za zmienku stojí nevýrazné zvýšenie detskej leukémie na exponovaných miestach a chronická lymfocytická leukémia u pracovníkov, ktorí sú často vystavení pôsobeniu polí.

Vzhľadom na pretrvávajúce neistoty existuje široká snaha obmedziť špičkové hodnoty vonkajších nízkofrekvenčných elektromagnetických polí v medziach možností na čo najnižšie hodnoty. Existuje celý rad noriem a odporúčaní, ktoré zabiehajú do väčších či menších podrobností, v medzinárodnom meradle je však iba približná zhoda medzi nimi. Niektoré z nich deklarujú najvyššie prípustné hodnoty polí pre celú verejnosť, iné rozlišujú limity pre bežnú verejnosť a pracovníkov, ktorí sa musia v danej oblasti pohybovať v rámci svojich činností. Pre nich sa potom určuje aj najdlhšia doba, ktorú môžu stráviť na exponovaných pracoviskách.

V SR v súčasnosti platí Vyhláška Ministerstva zdravotníctva SR č. 534/2007 Z. z. zo 16. augusta 2007 o podrobnostiach o požiadavkách na zdroje elektromagnetického žiarenia a na limity expozície obyvateľov elektromagnetickému žiareniu v životnom prostredí a Nariadenie vlády SR č. 209/2016 Z. z. o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou elektromagnetickému poľu (tabuľka 1).

Tabuľka 1

Vybrané limitné hodnoty intenzity elektrického poľa, intenzity magnetického poľa a magnetickej indukcie pre 50 Hz

	Intenzita elektrického poľa E [V/m]	Intenzita magnet. poľa H [A/m]	Magnetická indukcia B [ $\mu$ T]
534/2007 Z. z.	5000	80	100
209/2016 Z. z.	10000	-	1000
STN P ENV 50166-1*			
verejnosc'	10000	-	640
pracovníci	30000	-	1600

\* STN P ENV 50166-1 (33 2040) Vystavenie ľudského organizmu pôsobeniu nízkofrekvenčných elektromagnetických polí s frekvenciou od 0 Hz do 10 kHz. (1.4.2000)

Vývoj tvorby limitov prípustného elektrického a magnetického poľa z hľadiska vplyvu na človeka a okolie je možné pozorovať porovnávaním hodnôt udávaných v rôznych dokumentoch. Normy, nariadenia a vyhlášky, záväzné či odporúčané hodnoty sa často líšia, nie však radovo. Možno očakávať, že v rámci Európskej únie a ďalších medzinárodných organizácií bude dochádzať k ich zjednocovaniu. Pre porovnanie možno uviesť, že v prírode žijeme v zemskom elektrickom poli (jednosmernom) okolo 200 V/m a v zemskom magnetickom poli (jednosmernom) magnetickej indukcie okolo 50  $\mu$ T.

### III. SOFTVÉROVÉ PROSTREDIE ANSYS

Súčasná trhová situácia na svete je preplnená množstvom konkurenčných výziev, požiadaviek zákazníkov a finančných tlakov. Kombinácia týchto faktorov má za následok vyhľadávanie nových metód pre vývoj výrobkov a výrobných procesov s požiadavkou na minimálne časové a finančné náklady. Digitalizácia prerazila prakticky do každého odvetvia priemyslu a spôsobila to, že kľúčovou stratégiou k úspechu je začleniť počítačovo založené inžinierske simulácie na začiatok vývojového procesu. Práve to umožňuje inžinierom spresniť a overovať návrhy v štádiu, keď sú ešte náklady na vykonanie prípadných zmien minimálne.

Spoločnosť ANSYS, založená v roku 1970 rieši reálne konštrukčné problémy v oblasti energetiky, strojárstva, stavebníctva, letectva, automobilizmu a elektrotechniky. Pre každý druh oblastí spoločnosť vytvorila a neustále vytvára množstvo softvérových produktov, ktoré sú určené na rýchle, presné a spoľahlivé simulácie. Programy dokážu riešiť rôzne multifyzikálne lineárne a nelineárne úlohy zahŕňajúce elektromagnetické, termodynamické, štruktúrne, akustické, optimalizačné, citlivostné analýzy a analýzy prúdenia kontinua. Z hľadiska druhu analýzy je možné riešiť úlohy jednotlivo a nezávisle, alebo multifyzikálne a závisle.

ANSYS Workbench je inovatívne prostredie, ktoré vytvára určitú kosru (základ) pre vzájomné prepojenie medzi jednotlivými programami ako [4]:

- ANSYS Mechanical – modul pre štruktúrne a teplotnú analýzu,
- Fluid Flow (ANSYS CFD, FLUENT, CFX) – moduly pre analýzy prúdení,
- ANSYS Maxwell – modul pre elektromagnetické analýzy,
- Design Exploration – modul pre optimalizačné analýzy.

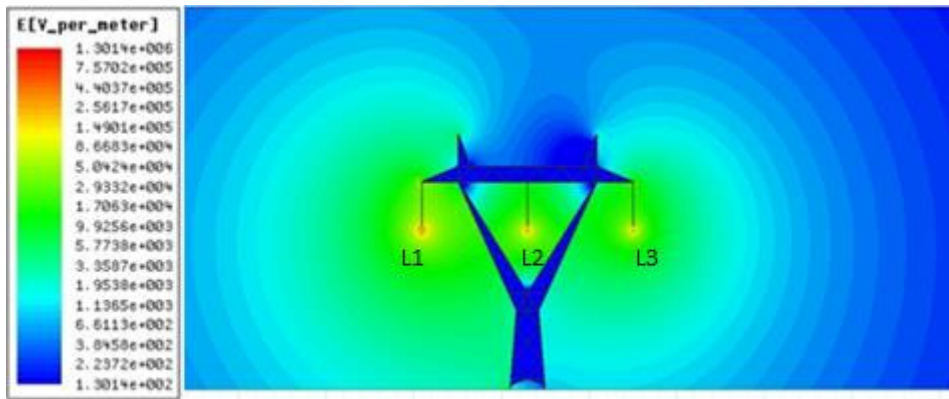
ANSYS Maxwell je simulačným softvérom elektromagnetického poľa, ktorý sa využíva na návrh, analýzu (2D a 3D) a optimalizáciu elektrických a elektroenergetických zariadení akými sú napríklad motory, generátory, transformátory, vedenia, a pod. Program dokáže vykonávať analýzy elektromagnetických polí (stacionárne, nestacionárne), s harmonickými zdrojmi elektromagnetických polí, elektrických polí, prechodných dejov ale aj frekvenčné analýzy na základe výpočtov úplnej sústavy Maxwellových rovníc pomocou metódy konečných prvkov.

### IV. MODELOVANIE ELEKTRICKÉHO A MAGNETICKÉHO POLA VVN VEDENIA

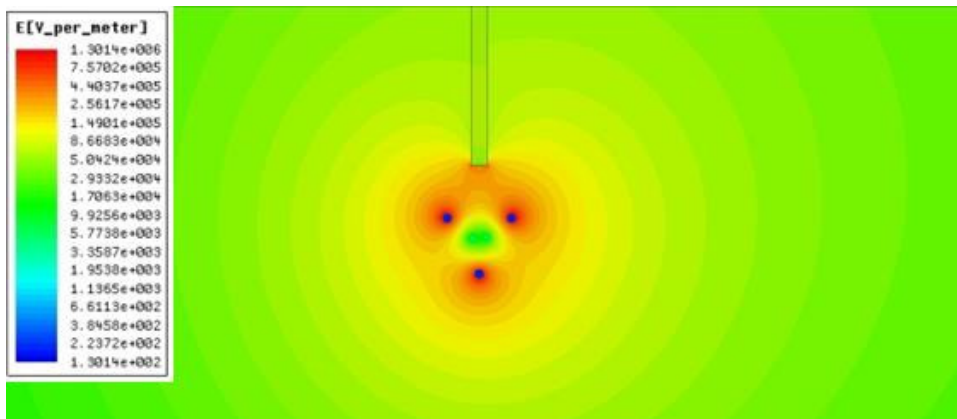
Prenos elektrickej energie na území Slovenskej republiky je realizovaný prostredníctvom vzdušných elektrických vedení, pri napätových hladinách 220 kV a 400 kV. Pre elektrické vedenia týchto napätových hladín sa používajú oceľové stožiare viacerých typov. Na ukážku v tomto príspevku bol vybraný model jednoduchého trojfázového elektrického vedenia (1 x 400 kV) s konfiguráciou nosného stožiara typu YPSILON a vodorovným usporiadaním vodičov [4].

Pri simulácii sa uvažoval fázový vodič AIFe 450/52 a zemný vodič AIFe 180/59. Menovitý fázový prúd bol 821 A, podľa PN ZSNP 1/83.

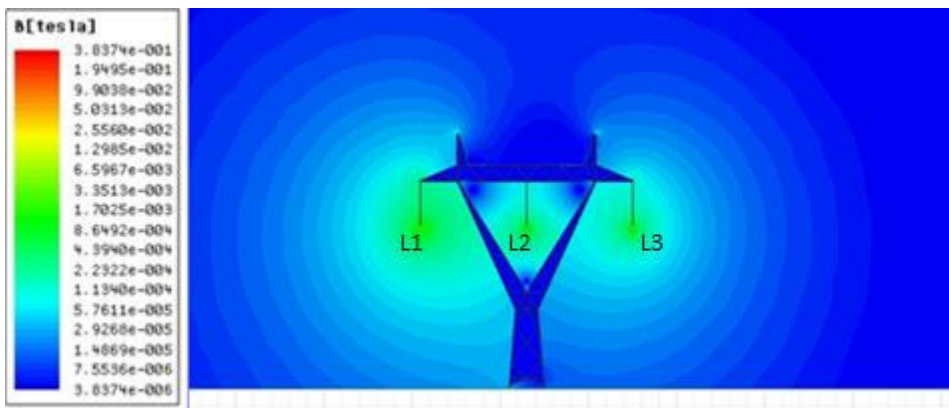
Geometria modelu elektrického vedenia bola vytvorená v programe AutoCAD a následne importovaná do programu ANSYS Maxwell. Modelová situácia rozloženia intenzity elektrického poľa v okolí predmetného elektrického vedenia je zobrazená na obr. 2, na obr. 3 je rozloženie intenzity elektrického poľa v okolí zväzkového vodiča fázy L1. Na obr. 4 a 5 je rozloženie magnetickej indukcie v okolí vedenia, resp. v okolí zväzkového vodiča fázy L1.



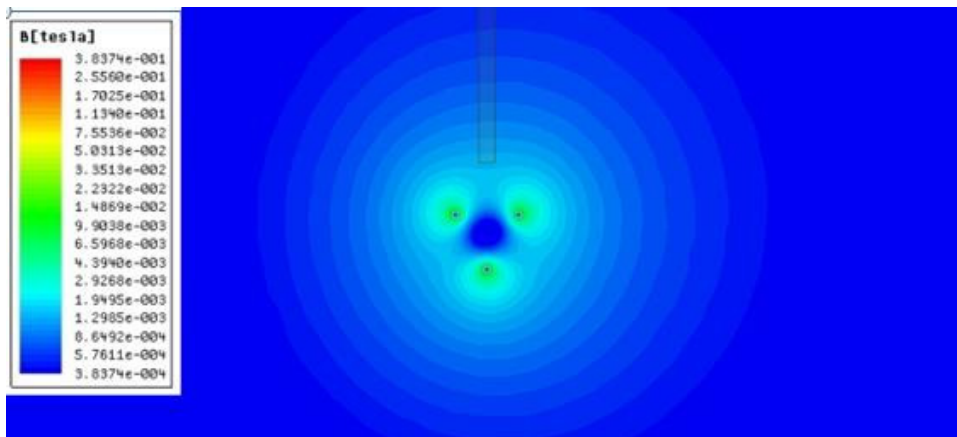
Obr. 2 Rozloženie intenzity elektrického poľa v okolí elektrického vedenia 400 kV



Obr. 3 Rozloženie intenzity elektrického poľa v okolí zväzkového vodiča fázy L1



Obr. 4 Rozloženie magnetickej indukcie v okolí vedenia 400 kV



Obr. 5 Rozloženie magnetickej indukcie v okolí zväzkového vodiča fázy L1



Na základe simulácie bolo možné stanoviť intenzitu elektrického poľa a magnetickú indukciu pod vedením, vo výške 1,8 metra nad zemským povrchom. Pri meraní intenzity elektrického poľa v bežnej prevádzke nie je prekročená medzná hodnota 5000 V/m. Najvyššia hodnota intenzity elektrického poľa 3534,54 V/m bola nameraná v tesnej blízkosti (naľavo od elektrického stožiara) 400kV elektrického vedenia. Medzná hodnota magnetickej indukcie 100  $\mu$ T taktiež nie je prekročená v okolí vedenia pri bežnej prevádzke. Najvyššia hodnota magnetickej indukcie 40,34  $\mu$ T bola nameraná v tesnej blízkosti (napravo od elektrického stožiara) 400kV vedenia.

## V. ZÁVER

Cieľom príspevku bolo poukázať na možnosť využitia ďalšieho potenciálu výpočtovej techniky v oblasti elektroenergetiky. Modelové situácie týkajúce sa rozloženia elektromagnetického poľa v okolí vedenia 400 kV boli realizované v programe ANSYS Maxwell. Z hľadiska editácie modelov a ich parametrizácie bola práca v tomto softvérovom prostredí relatívne jednoduchá a prehľadná. Nevýhody softvéru sa prejavili vo zvýšených nárokoch na hardvérové vybavenie výpočtovej techniky. Počas vykonávania procesu výpočtov a následne aj pri grafickom post-processing-u bolo evidentné, že klasická výpočtová technika, ako bežné domáce PC alebo notebooky, je nepostačujúca. V tomto prípade bol využitý laboratórny superpočítač, ktorý viditeľne zrýchlil prácu s programom. Pre predstavu môže časový rámec pre vykonanie výpočtov s využitím radového PC trvať niekoľko desiatok hodín, ale s použitím výkonnej výpočtovej techniky iba niekoľko hodín, či minút. To isté platí aj pri procese grafického vyhodnocovania. V prípadoch ako tento, je veľmi pravdepodobné mnohonásobné predĺženie času, nakoľko je v mnohých situáciách potrebné viackrát opakovať výpočty s cieľom očakávaného výsledku (konvergencia výsledku).

## POĎAKOVANIE

Túto prácu podporil projekt Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied VEGA č. 1/0132/15.

## LITERATÚRA

- [1] J. Tlustý et al., *Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav*. ČVUT v Praze: Praha, 2011. 256 s. ISBN 978-80-01-04940-2
- [2] M. K. Martonová, *Elektrotechnika a problémy životného prostredia*. Academia Press Elfa: Košice, 1998. 100 s. ISBN 80-88786-86-X
- [3] A. Mészáros, *Základy environmentalistiky*. TU v Košiciach: Košice, 2015. 269 s. ISBN 978-80-553-2145-5
- [4] M. Majerský, *Modelovanie elektromagnetických polí v elektroenergetike*. TU v Košiciach: Košice, 2015. 93 s.
- [5] Introduction to Finite Element Analysis or Finite Element Method. [online]. Victoria: UVIC. Dostupné na internete: <[http://www.engr.uvic.ca/~mech410/lectures/FEA\\_Theory.pdf](http://www.engr.uvic.ca/~mech410/lectures/FEA_Theory.pdf)>.
- [6] About ANSYS [online]. ANSYS, Inc. Dostupné na internete: <<http://www.ansys.com/About+ANSYS>>.
- [7] J. Hromádka, P. Kolář, J. Kubák, *Elektromagnetismus a multidisciplinárni analýzy*. [online]. CAD.cz. Dostupné na internete: <<http://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/2961-elektromagnetismus-a-multidisciplinarni-analyzy.html>>.
- [8] ANSYS Maxwell [online]. ANSYS, Inc. Dostupné na internete: <<http://www.ansys.com/Products/Simulation+Technology/Electronics/Electromechanical/ANSYS+Maxwell>>.

# Extracting the Skeletal Model of the Human Body from Static Image

<sup>1</sup>Ján DROZD, <sup>2</sup>Ondrej KAINZ, <sup>3</sup>Miroslav MICHALKO, <sup>4</sup>Roman VÁPENÍK,  
<sup>5</sup>František JAKAB

<sup>1,2,3,4,5</sup> Department of Computers and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>jan.drozd@student.tuke.sk, <sup>2</sup>ondrej.kainz@tuke.sk, <sup>3</sup>miroslav.michalko@tuke.sk,  
<sup>4</sup>roman.vapenik@tuke.sk, <sup>5</sup>frantisek.jakab@tuke.sk

**Abstract** — The principal focus of the paper is the development of prototype software solution for creation of human body skeleton model, while utilizing selected type of markers. The main consideration when drawing skeleton model is successful detection of markers. Analysis covered in the paper presents important functions and methods used in the area of image processing. Further, software tools and types of markers are presented and the most suitable one is selected. The main part of the paper includes detailed design of solution for creation of skeleton model and presents procedures for calculation of the dimensions between joints. Software solution was implemented using the OpenCV library. Extracted values were evaluated and the deviation to real values is approx. 43mm. Prototype of software solution proves the ability to measure distance between joints of the human body and height of a person.

**Keywords** — computer vision; object detection; skeleton model; OpenCV.

## I. INTRODUCTION

Computer vision is one of the most useful and widespread sciences. Many other sciences often use knowledges based on computer vision. This scientific field brings a wide scale of innovations into the market, as already provided by Facebook which automatically recognizes faces in the picture or as do Google products, using service called Photos is to possible to recognize places and objects in the picture.

Opportunity for innovation is perceived robotic device software development that is going to replace numerous people activities in the future either in ordinary life, medicine or manufactory area. Computer vision section made possibility of examining, innovating and creating solid conditions for software developers. This fact provided opportunity to discover and really constructing robot models which found use as waiters at the restaurants or as a key element of medic operation saving person's life. Nowadays, people recognition is widespread element in criminology area for person identification or customer identification in the bank. Along with face, eye and mood detection, these algorithms are able to measure height of a person in the image. Extraction of dimensions is one of the main interests of this paper. Placing markers on joints of a person and using optical device the skeleton model is to be created. There are numbers of markers. The most used will be selected based on deep analysis performed. Proposed solution will enable measurement the height of a person.

## II. ANALYTICAL CONSIDERATIONS

Extraction of information requires utilization of specific algorithms and methods of image processing. These allow finding the edges and corners of the object in the image that we want to use for specific purpose. The main reference points in this paper represents markers used for computer vision purposes. Person is able to sense an image more properly when the edges of an image are sharp. This means that the eye of a person is sensitive to edges position and noise in the smooth areas. Numbers of method exists to bring of the edges, the most famous are Gaussian [1] and Median filter [2].

Main task of the functions for segmentation is to divide image into parts with common features. That is a process which divides the image to objects with the aim to distinguish them from the background. This division has meaning in object recognition in the image and helps to simplify image that is important for next processing or detection. Thresholding is often used to divide

objects from background, e.g. used by Chow a Kaneko [3]. Analogous method is Hough transformation [4]. The image consists of many information not needed for processing. Next step in image processing is simplifying by extracting the important features that image contains and leaving the others. This can be done by application of methods like Canny edge detector [5] or Scale-invariant feature transform SIFT [6]. The aim of these algorithms is to find an objects or edges in image.

When implementing the computer vision techniques it is possible to use the libraries, containing predefined functions helping programmer with software development. The most famous are OpenCV [7], SimpleCV [8] a CCV. These libraries contain algorithms for image processing, create environment for refined application implementation and allow simple orientation for users. Further, they are included in many solutions that use satellite maps, object analysis, military and medic applications. Every of these is supposed for usage in certain programming language by default such as Java, C++ or Python.

Marker system is a computer vision system created for purpose of localization of special marker added into scene. It consists of patterns placed in the scene, automatically detected in digital image by using particular detection algorithms. Usage is extensive. Either in virtual reality, robot navigation or applications based on camera usage. They have been specially created to be recognized even in bad resolution. Every marker consists of smaller inter-markers that are key for correct identification. Important feature is identification as the special unique. Square-based marker systems are one of the most popular approaches for camera pose estimation because of fast detection. Camera pose estimation is often problem of computer vision applications like robot navigation and augmented reality based on getting the match between environment and image points. One of the issues in the detection of markers is variable rotations of marker, which may cause incorrect identification. Next problem that may occur when the marker is placed near area with higher brightness, for example in a room between two windows.

### III. DESIGN PROPOSITIONS

The aim of this research was the creation of a human skeleton model with the help of visual markers and measuring the distance between joints. OpenCV was selected as the best library for experimental implementation following the prior analysis. As shown in the Fig. 1, the object on the scene should be a human. The person is expected to be holding the specific marker, or these could be located on every joint. From the various types of markers ArUco [9] was chosen. The aim of placing the markers on the person is the creation of the skeleton model. The markers should be placed on 14 joints and on the head to create the skeleton model. One of the markers will be placed on the floor, right between person's feet to measure the height.

The markers to be used are of specific ArUco library, which means that the size of the marker will be 49 bits and the maximum number of them will be 250, numbered from 0 to 249. Since it is meaningless to use all of them, we will use only 16 with identification numbers from 0 to 15. The only reference objects in the scene will the very ArUco markers. It is important to know the real measurements of the markers before the implementation. It will be helpful if we want to measure the gaps between the joints. The object in the picture, the person, will be standing still and facing the camera. The markers must be placed so that it is possible to detect them.

The sequence of steps is the following:

1. 2D square shape markers are printed on a paper from predefined ArUco dictionary, specifically from DICT\_6X6\_250 dictionary.
2. These markers are placed on those joints of human which are sketched in the picture.
3. Picture taken form a camera serves as an input for implementation. Several pictures will be created and in the next section are to be used for the evaluation process.
4. Based on the extracted photo, the markers will be automatically recognized – as a result the important information for the next progress, i.e. identification numbers from dictionary, will be acquired.
5. Then, based on marker's ID numbers, an algorithm links one marker to another from a center of one into center of another.
6. Skeleton model and distance between markers are obtained, along with the height of a person.

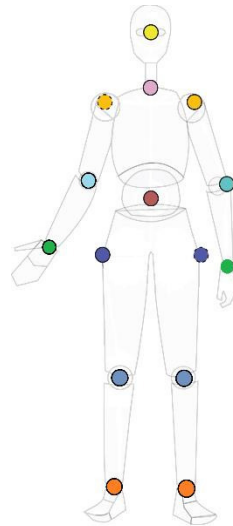


Fig. 1: Placement of the specific markers

Verification processes for recognition of one ArUco marker from image are provided as well as if it is possible to extract its ID number and colorful label into screen. If yes, more markers are added into scene and another verification is provided with the aim to ensure correct identification of all of them. If all steps are passed successfully, the solution will allow to recognize markers correctly and write its ID numbers. Further, it will be possible to extract more images from the optical device. Object with markers placed on person will be located on these photos with reference objects, respectively a human wearing ArUco markers on the joints of his body sketched in the image and the marker on the ground between feet. It is necessary to find out how long is one real centimeter in pixels in the image to determine the distance between markers. This estimation is implemented through series of simple calculations. However, prior to that the calculation between edges of two markers has to be done. If calculation of pixel distance between two edges is done correctly, then it is possible to substitute this value into formula for pixel size in centimeters calculation. A distance between marker edges is possible to be calculated via Euler distance.

Further, if we want to accede to distance calculation between markers, coordinates of the center of markers have to be calculated at first. Every marker has four edges. Each one of these edges has its  $x$  a  $y$  coordinate. If we add edge coordinate  $x$  into coordinate  $x$  of opposite edge and this sum will be divided by two then coordinate  $x$  of the center of the marker will be gained as a result. All the same is needed to be done to discover the  $y$  coordinate of the center of the marker. This calculation is implemented for both markers that we want to calculate distance. If centers of the markers are known then it will be substituted into another Euler distance formula. As a result, distance in pixels is obtained. However, a goal for expected result is distance value in centimeters the result will be converted into centimeters.

#### IV. IMPLEMENTATION

Software solution is implemented using the algorithms of a specific library OpenCV. This library had primary usage in C++, this language is be used for this implementation as well. As it was mentioned in design section, implementation will consist of:

- marker creation,
- detection of these markers and displaying ID numbers on the image,
- creation of the human skeleton model from input picture,
- measuring the distance between joints, respectively markers and height of the person calculation.

First step to achieve a goal was the creation of a marker. To create the markers the specific functions of ArUco library were used. Then, these markers were placed on the human. In total 16 markers were required for the placement, another function estimated the number of markers.

Marker detection was implemented by calling *detectMarkers()* function from ArUco library where the input parameters were input image, ArUco predefined dictionary, marker corners vectors and ID numbers entered. This function returned four corners for each marker in their real order, that means clockwise order starting with top left corner. Second is top right corner, third low right corner and finally fourth low left corner. After detection is done, this order is important

for marker rotation specifying to know actual position of marker. Corner marking will be used later while center of the marker specification.

The next thing to be done after the detection processed is checking that the markers have been correctly detected. Aruco library provides function for marker sketching, respectively highlighting in the input image. Red square provides the information of marker's rotation and location in the top left corner and ID number of marker is written as well.

Further, after successful verification, the main tasks is carried out the interconnection of markers. Specific function uses center points of markers for connection as parameters. Creation of skeletal model and connection all of neighboring markers is needed. Function `connectAllParts()` implemented. Calling this function, array items 0 and 1 provided important information that head marking marker have to be connected with the marker marking torso. Similarly, all of the other markers are connected for skeleton model creation. Even before creation, verification process passes to find out either duplicate markers or missing markers. If this control passed correctly, the report about foundation of all markers is printed on the screen.

## V. EVALUATION AND TESTING

This part provides feedback about usability while negative factors considering the appearance that may endanger either detection or measuring distance between the markers. Several tests were carried out, subjects were photographed from various heights. While photographing, the emphasis was put to avoid negative factors like high brightness, very low brightness, disproportion at light contrast shining on person and light at the background or location of the camera opposite sharp light. It is important for solution to calculate the distances between markers with high accuracy and minimal variation comparing to real distances which will probably occur. The reason of potential variation appearance will be marker tilt against camera position.

For algorithm functionality evaluation three tests will be performed:

1. Camera in height of 180 centimeters,
2. Camera in height of 120 centimeters,
3. Camera in height of 60 centimeters.

When testing the position of the camera was moved vertically to have markers in various angles against position of the camera. This movement allowed the sizes of markers to be changed and then we could take a look how a solution is able to deal with these changes while calculating the distances between marker edges, center of maker coordinates and distances between markers. Difference in these calculations provide the size of variations occurring while each measurement.

Variations for distances between joints of the body and height of a person were calculated within the measured values. Based on the results, we can evaluate that the lowest variations were while calculating the distances between markers on arms. It is necessary to specify the fact that the software solution was measuring the length of the arm from shoulder joint to wrist joint. The distance between wrist and the end of fingers remained neglected so we cannot consider the overall length of the arm from the shoulder to the end of the fingers. This fact is necessary to admit even about the leg height which has been measured from hip joint to ankle.

The result of variations differs with the camera heights. The solution measured the most precisely those distances between markers which reached the lowest angle against position of the camera. If the height of camera was 60 centimeters the distance between markers on arms reached markedly higher variance than distance between markers on legs. Vice versa, in case of camera's height 180 centimeters the higher variance of legs length was expected but program have done measuring of this value with relatively high accuracy. The best accuracy was achieved with camera position of 120 centimeters since the markers were at steady angle. Overall the lowest accuracy reached algorithm while measuring the height of a person. Summary of average variations of measured parts from real dimensions:

- Average variation for arm length: height of 180 cm (3.01 cm), height of 120 cm (2.54 cm), height of 60 cm (7.96 cm).
- Average variation for leg length: height of 180 cm (3.76 cm), height of 120 cm (2.45 cm), height of 60 cm (2.21 cm).
- Average variation for the shoulders width: height of 180 cm (2.06 cm), height of 120 cm (1.92 cm), height of 60 cm (3.8 cm).
- Average variation for the height of the person: height of 180 cm (8.1 cm), height of 120 cm (5.55 cm), height of 60 cm (8.3 cm).

- Average variations of each height: height of 180 cm (4.23 cm), height of 120 cm (3.11 cm), height of 60 cm (5.6 cm).
- Overall average variation: 4.3 cm.

## VI. CONCLUSION

Final prototype of software solution was implemented and following the testing its functionality to extract the dimensions between the markers proved to work correctly, fast, and precisely. Information regarding the accuracy of computer vision was estimated based on testing. Accuracy of measurement was presented and is comparable to real-world distances between joints.

## ACKNOWLEDGMENT

This publication is the result of the Project implementation: University Science Park TECHNICOM for Innovation Applications Supported by Knowledge Technology, Phase II., ITMS: 313011D232, supported by the Research & Innovation Operational Programme funded by the ERDF. We support research activities in Slovakia/This project is being co-financed by the European Union.

## REFERENCES

- [1] G. Deng, L. W. Cahill. An Adaptive Gaussian Filter For Noise Reduction and Edge Detection. In IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, 1993
- [2] Simon Perreault, Patrick Hebert. Median Filtering in Constant Time. In IEEE transactions on image processing, 2007
- [3] C. K. Chow and T. Kaneko. Boundary detection of radiographic images by a threshold method. In Proceedings, pages 130-134.
- [4] J. Illingworth, J. Kittler. A Survey of the Hough Transform. In Computer vision, graphics, and image processing, pages 87 - 116, 1988.
- [5] Bing Wang, ShaoSheng Fan. An improved Canny edge detection algorithm. In Second International Workshop on Computer Science and Engineering , 2009.
- [6] Stephane Mallat, Sifen Zhong. Characterization of Signals from Multiscale Edges. In IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, vol. 14, no. 7, July 1992.
- [7] P.K Aby, Anumol Jose, Bibin Jose, Dinu L.D, Jomon John, Sabarinath G. Implementation and Optimization of Embedded Face Detection System. In Signal Processing, Communication, Computing and Networking Technologies, 2011.
- [8] Kurt Demaagd, Anthony Oliver, Nathan Oostendorp, Katherine Scott. Practical Computer Vision with SimpleCV, 2012.
- [9] Andrej Babinec, Ladislav Jurišica, Peter Hubinský, František Duchoň. Visual localization of mobile robot using artificial markers. In Procedia Engineering, 2014.

# Extracting the Dimensional Data using ArUco Markers

<sup>1</sup>Marek ILKO, <sup>2</sup>Ondrej KAINZ, <sup>3</sup>Aleš DEÁK, <sup>4</sup>Peter FECILAK,  
<sup>5</sup>František JAKAB

<sup>1,2,3,4,5</sup> Department of Computers and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>marek.ilko@student.tuke.sk, <sup>2</sup>ondrej.kainz@tuke.sk, <sup>3</sup>ales.deak@tuke.sk,  
<sup>4</sup>peter.fecilak@tuke.sk, <sup>5</sup>frantisek.jakab@tuke.sk

**Abstract** — The main objective of this research is detection of the person in the image, while having the possibility of extracting dimensional information using ArUco markers. Experimental implementation of proposed software solution is created for selected platform. The development of the software solution was solved using the C Sharp programming language and the OpenCV library. Testing of the solution itself took place on several randomly selected individuals. The conclusion of the task includes an evaluation of the results of the solution used to verify the implementation of the chosen solution, which proved its usability. Resulting application is able to determine the dimension of persons using ArUco markers.

**Keywords** — ArUco marker; person detection; dimension extraction; camera calibration; computer vision.

## I. INTRODUCTION

Until recently, it was an idea that the computer would perceive the world around itself as people perceive it with the help of an unimaginable sight. By “see” we mean the ability to get all the important information from the image or video that is necessary to successfully solve the issue. The science department, which allows vision machines, is called computer vision. Computer vision as a science department deals with information from images. Image data can take various forms such as video sequences and multidimensional data. According to authors [1], work with the image can be directed to visualization or to understanding the picture.

With the practical use of computer vision, we meet every day in a variety of activities that we already see as commonplace today. A great example is the computer aided mobile application that is being used by more and more people around the world. That is why computer vision, as a department, is constantly evolving and adapting to the latest trends and requirements. For this reason, research in the area of computer vision is extensive and there is still room for implementation.

Specifying the dimensions of objects from an image can be included in the image processing area. In order to get the best picture in this work, we will use the image calibration. Calibration is performed with the help of a familiar geometric shape that we will scan from several angles of view. By calibration, we are working on the internal and external parameters of the calibration device.

As mentioned above, we can calibrate the camera using a set of familiar objects in the scene. Simple camera calibration uses spatial objects of known shape. In this work, we are counting on the ArUco markers. ArUco markers as objects in the scene can be relatively easy to detect and it is also easy to determine their location. We use the OpenCV library for the work and image operations. The ArUco library will be used for the prepared input data, and the output will be the “marker” object, which we obtain, assuming a successful calibration. After identifying the markers, we will be able to determine the dimensions of the objects using the ArUco marker. We will describe these objects through a set of numerical characteristics and understand their contents.

## II. ARUCO MARKERS AND OPENCV

OpenCV is a high-level computer vision library primarily written in C++ language. OpenCV provides the machine learning, image manipulation and editing functionalities. With OpenCV it is possible to perform optical character recognition, face recognition, object detection, camera calibration, feature extraction, tracking of objects, calculate, and display the augmented reality objects and so

much more. Authors in [2] depicted ArUco library, which was made as a result of computer vision research on university of Cordoba in Spain. The main principle is based on fiducial marker system, which is specialty used camera pose estimation, object position estimation, and special kind of navigation. Each marker has own identified number. This fact allows the use in identification applications. Possibility is to code 1024 different markers at one time. System is characterized by very low false positives rate due using self-comparing codes and big inter-marker distances in generated dictionaries. The basic size of marker consists from 7x7 bits, but it can be smaller or bigger.



Fig. 1. Example of ArUco marker.

### III. USE OF ARUCO MARKERS

Detection and subsequent use of the ArUco marker is of great importance in research and many applications oriented to computer vision. Authors in this publication [2] highlight this ArUco detection process for robot navigation, augmented reality and many others. This process consists of matching, between real-world locations and their 2D projection. This step is usually very difficult, so it is common to use synthetic or starting markers to facilitate the process. One of the most popular approaches is the use of binary square root markers. The main advantage of these markings is that one mark provides sufficient matching, due to its four corners. Thus, internal binary coding makes them particularly robust, so they can be used to detect errors and repair techniques. At present, Aruco has used several leading disciplines in research. These include software engineering, applied computer science, geographic cartography, spatial planning, electrical engineering, information and communication technologies, clinical departments of medical sciences, and many others. Examples of the specific use of ArUco labels in research:

- a) Locating a mobile robot using ArUco markers. [3]
- b) Automatic landing of the drones. [4]
- c) Research for children with autism. [5]
- d) Research for the visually impaired. [6]

### IV. SOLUTION DESIGN

The aim of this work is to analyze the solution for detecting the person in the image with the possibility of extracting information about its dimensions and subsequently to convert the experimental implementation of the proposed solution in the form of a prototype application on the selected platform. As a software tool, the OpenCV library and the C# programming language were chosen. Thanks to the common harmonization, the OpenCV library and the C# programming language are best suited to the implementation of our idea. In order to be able to extrapolate the dimensions of the person, we will use the ArUco markers. The following points will describe the expected sequence of steps for correct detection of the person in the image and subsequent extraction of information about its dimensions, using the ArUco markers:

- a) The first step is to prepare ArUco markers. Using the application, we print on a 2D ArUco paper, a square shape. An important step in pushing the ArUco markers is its size, which we must know, to retrieve correct information about the dimensions of the measured object later.
- b) The next step is calibration. Image calibration is a necessary step for the flawless detection of the ArUco markers. There are many factors to the quality of input images. By incorrect calibration, we may lose the possibility of detecting ArUco markers in the image and thus we do not extract information about the dimensions of the object, which is our goal.
- c) One of the most important steps is the detection of the ArUco markers. This step is necessary, for several reasons: Because we know the real size of the ArUco markers in the image, only with the ArUco markers, we can estimate the actual size of other objects. Detection of a person and subsequent extraction of information about its dimensions will only begin with the presence of the ArUco markers in the image.



The last most important step is the detection of the person in the image and its subsequent extraction of the dimensions. The success of this step is directly dependent on the success of the previous steps. Even the smallest error in the sequence of steps may result in a measurement deviation or failure to detect the person and subsequent extraction of the dimensions. The results of the entire process will be stored in a text file.

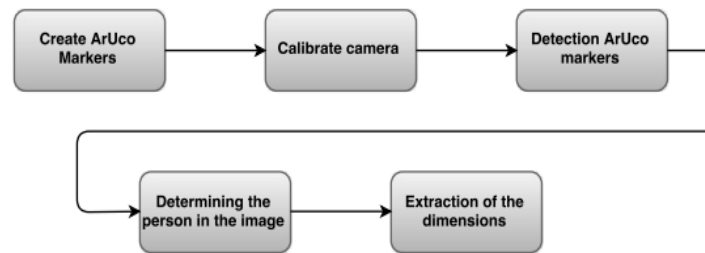


Fig. 2. Diagram of the expected sequence of steps.

## V. SOFTWARE INSTRUMENTS

On the basis of the above, the OpenCV libraries and the programming language C # have been designed as proposed tools.

### A. OpenCV

OpenCV Open Source Computer Vision is a freely available library for academic and commercial purposes. The OpenCV Library was built to provide a common infrastructure for computer vision applications and faster use of the machine chip for commercial products. OpenCV today includes real-time image processing, camera calibration, object detection and tracking, 3D image reconstruction, machine learning, image transformation, video analysis, and various add-ons to create advanced graphics environments. The OpenCV library is written natively in C / C ++ and supports operating systems such as Windows, Linux, Android and Mac OS. It also supports C ++, C, Python, MATLAB and Java interfaces.

### B. C# programming environment

C# is a high-level, object-oriented programming language developed by Microsoft, along with the .NET software framework. This programming language has been approved by ECMA (ECMA-334) and ISO (ISO / IEC 23270: 2006). The Principle Builder and Chief Architect of C # is Anders Hejlsberg, who has used his previous experience with programming languages and design of software frameworks. New languages used to be C ++ and Java. C # is a universal, object-oriented programming language that can be used to create database programs, web applications, Windows applications, web services, mobile software creation, and many more. The latest version of C # is 7.0, released in 2017 along with Visual Studio 2017.

## VI. EXPERIMENTAL IMPLEMENTATION

The whole solution is divided into four basic parts that are interconnected:

- Create ArUco markers.
- Calibration camera.
- Detection ArUco markers.
- Determining the dimensions using the ArUco marker.

### A. Create ArUco markers

To enable marker detection, they must first be created, printed, and then placed in the environment. We use the drawMarker () function to generate a marker. The drawMarker() function has five parameters:

- 1) dictionary,
- 2) the identification number,
- 3) the size of the marker image output,
- 4) input image,
- 5) the width of the black border.

### B. Camera calibration

Calibration is a necessary step for the flawless detection of the ArUco marker and subsequent

dimensioning of the object. There are many factors to the quality of input images. The first factor influencing the quality of the input images is lens distortion factor. The second factor is to determine the exact position of the corner points in the image scale. The third factor influencing the image quality is the number of images of the input set to the quality of the calibration. Calibration pattern is required for calibration itself. In this case, a checkerboard pattern. In order to determine the inner corners of a chessboard, we need to know its size. That is, we need to know the number of its inner corners. The next step, after successful identification of the chessboard pattern and its inner corners, is to draw them, which serves to verify the identification. The last step is the calibration itself, which is performed by calculating the matrix of the camera's external and internal parameters, as well as the image distortion factors, by specifying the 3D point of the object and its 2D object point. Matching points can be determined by a calibration object that has to meet the conditions of simple point identifiability and known geometry.

### C. Detection of ArUco markers

The next stage in processing information from a digital image is the use of binary square markers. This process of obtaining information from a digital image is based on the discovery of the correspondence between real-world points and their 2D image projection. To detect the ArUco markers in the image, the `detectMarkers ()` function is implemented, which returns the position of the 2D corners of the marker and its corresponding identifier for every detected marker. The `drawPart ()` function then offsets the coordinates of the mark's center and renders the characters found in the image. Among the parameters `detectMarkers ()` are:

- The first parameter is the frame in which the markers are detected.
- The second parameter `markerDictionary` is the dictionary of the object
- The third `markerCorners` parameter returns the list of detected corners of each marker. For each marker, they are four corners in their original layout, which is clockwise, starting at the top.

The latest `markerIds` parameter is a list of identifiers for each of the detected markers.

### D. Determining the dimensions using the ArUco marker

The final step of implementing the proposed solution is to determine the dimensions using the ArUco marker. The implementation of the solution is done using `draw_body ()` and `calcDistance ()`. The first mentioned method, after the designees of the ArUco marker, calculates the coordinates of the center of the rectangle, and then draws a rectangle over the outline of the man. The next step is to calculate the distance between two points. The function of the given step is implemented in the `calcDistance ()` function. To calculate the distance between two points of the mark, we used the `min_scale` variable, where we applied the Euler distance relationship: 
$$\text{Minscale} = \sqrt{((m(0) \cdot x - m[1] \cdot x), 2) + \text{pow}((m[1] \cdot y), 2))} \cdot 2.$$

- 1) The calculation stored in the `min_scale` variable is divided by the real size of the marker and thus we have calculated the size of one pixel in centimeters: 
$$\text{PixelSize} = \text{markerscale} / \text{minscale}$$
- 2) The next step to achieving the real height of a person is to calculate the height of a man in pixels. We compute this calculation using the `dist`: 
$$\text{Dist} = \sqrt{(\text{pow}((a \cdot x - b \cdot x), 2) + \text{pow}((a \cdot y - b \cdot y), 2))} / 2.$$
- 3) To calculate the real height, we have to calculate the pixel height calculated by the `pixelSize` variable. The result will be stored in the `result` variable: 
$$\text{Result} = \text{dist} \cdot \text{pixelSize}$$
- 4) The final step of the whole implementation is rounding to two decimal places and listing the variable `result` that contains the expected result, information about the dimensions of the given person from the image.

## VII. TESTING

In the tests, four consecutive parts were considered. To test the design and implementation of the system, we used the HP HD 2300 webcam that features a wide 16x9 aspect ratio, HD 720P resolution, and image enhancement capabilities. The resulting application was tested on randomly assigned students. Testing took place in several steps. The first step was to measure the actual height. The second step was to run the application and then test it to ensure that each test participant had the task of standing up to five random distances from the lens. The people stood so that they were all in front of the lens. Consequently, assuming the test participant placed the ArUco camera in front of the camera lens, the character detection started and the measured values that were saved in the text file were written.

## VIII. CONCLUSION

The resulting software solution was tested with the help of five people. These testing subjects had little differences in outer features i.e. height, length of hair, clothing color. Other factors in the test were the different environmental conditions or the presence of interfering objects in the space. In general, however, the most positive effect on testing was the successful calibration of the camera and the removal of negative factors. Negative factors that affect not accurate extraction of person-to-person information were: bad camera calibration, dynamic camera position, bad visibility, person status. Based on the testing it was proven that the solution as proposed in this paper is usable in the real world and provide fairly accurate results.

## ACKNOWLEDGMENT

This publication is the result of the Project implementation: University Science Park TECHNICAL for Innovation Applications Supported by Knowledge Technology, Phase II., ITMS: 313011D232, supported by the Research & Innovation Operational Programme funded by the ERDF. We support research activities in Slovakia/This project is being co-financed by the European Union.

## REFERENCES

- [1] HLAVÁČ, V.; ŠONKA, M. Počítačové videní. Grada, 1993, ISBN 80-85424-67-3.
- [2] GARRIDO-JURADO, S., et al. Automatic generation and detection of highly reliable fiducial markers under occlusion. *Pattern Recognition*, 2014, 47.6:2280-2292.
- [3] BABINEC, A., et al. Visual Localization of Mobile Robot Using Artificial Markers. *Procedia Engineering*, 2014, 96: 1-9.
- [4] CARREIRA, Tiago G. Quadcopter automatic landing an a docking station. 2013.
- [5] BRANDAO, Jorge, et al. An Augmented Reality GameBook for Children with Autism Spectrum Disorders. In: *The International Conference Focused on e-Learning in the WorNPlace*. 2015.
- [6] MEKHALFI, Mohamed L., et al. Recovering the sight to blind people in indoor environments with smart echnologies. *Expert System with Application*. 2016, 46: 129-138.

# Hybrid FSO/RF Communication System and Puncturing Technique

<sup>1</sup>Peter STRNISKO, <sup>2</sup>Luboš OVSENÍK, <sup>3</sup>Ján TURÁN

<sup>1,2,3</sup> Department of Electronics and Multimedia Communications, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>ing.peter.strnisko@gmail.com, <sup>2</sup>lubos.ovsenik@tuke.sk, <sup>3</sup>jan.turan@tuke.sk

**Abstract** — Spectrum of radio frequency (RF) communications is limited and expensive to install new applications. Free space optical (FSO) communication is a viable technology which offers enormous bandwidth, license free installation, inexpensive deployment and error prone links. The FSO links degrade significantly due to the varying atmospheric and weather conditions. A hybrid FSO/RF communication system adapts the varying nature of atmosphere and weather. For the adaption of varying atmosphere and weather scenarios, was developed a novel optimization algorithm. The proposed algorithm is based on the well-known puncturing technique. The proposed algorithm is computationally less expensive and provides better performance gains over varying atmosphere and weather conditions. The algorithm is suitable for fast speed applications [1].

**Keywords** — FSO communication system, hybrid FSO/RF communication system, puncturing technique, RF communication system.

## I. INTRODUCTION

Communicating over FSO, with its nearly boundless bandwidth, has been proposed as viable candidate for "last mile connectivity" [2]. But the meteorological conditions and scintillation severely affect the FSO channel. FSO communication undergoes significant deterioration whenever the visibility of the laser beam is affected. It is mentioned in [3] that fog is the dominant parameter which significantly affects the visibility of the FSO laser beam. The atmospheric effects on the FSO beam propagation can be divided into power attenuation and laser power fluctuation usually called scintillation [3]. These channel variations can be improved by introducing the rate adapting technique.

Theory about study on punctured LDPC codes can be found in [4,5], considering the binary erasure (BEC) channels. Low density parity check (LDPC) code was first introduced by Gallager in 1962 and its performance is nearly close to the Shannon's limits. The LDPC codes of any rate and block length can also be created easily by just changing the shape of the parity check matrix. It means that the rate adaptability in the LDPC codes can be obtained easily compared to other codes. LDPC codes have the feature of parallelism for supporting different speeds, performances and memory consumption [1].

Recent research [2, 5] shows that the demerits of one communication links (FSO) can be overcome by introducing a parallel channel of other communication link (RF) named as hybrid FSO/RF communications system. But a true hybridization can be made possible only when both channels collaboratively compensate the disadvantages of each other and providing good performance improvements of the communication system. To cope with the channel variations, we propose puncturing LDPC codes which provides better performance improvement by making the system adaptive over the non-adaptive system [5]. The proposed algorithm shows a better flexibility over slowly fading channels [1].

## II. IRREGULAR LDPC CODES

Low density parity check codes have received attention by the research community because of their capacity approaching performance over a large range of data transmission and storage channels. The original Gallager codes are known to be regular LDPC codes. Another class of codes known as irregular LDPC codes can achieve better performance comparing to the regular ones.

An LDPC code can be well represented by a bipartite graph known as Tanner graph. The Tanner graph consists of two sets of component nodes decoders known as variable nodes

decoder (VND) and check nodes decoder (CND). The number of edges which join the VND and CND are equal to the number of  $I_s$  in the sparse parity check matrix  $H$ . The iterative decoding of the LDPC code is performed by passing messages between the neighboring VND and CND [1]. The flow of information between the variable and check nodes is shown in Fig. 1.

Irregular LDPC structures are those for which the degrees of each set of nodes are chosen according to some distribution. For a right regular also known as check-regular LDPC structure, it's all check nodes have the same degree. For irregular LDPC code structure, we can define a degree distribution ensemble  $(\lambda, \rho)$  from edge perspective way as

$$\lambda x = \sum_{i=d_v^{min}}^{d_v^{max}} \lambda_i x^{i-1} \quad (1)$$

$$\rho x = \sum_{i=d_c^{min}}^{d_c^{max}} \rho_i x^{i-1} \quad (2)$$

where  $d_v^{max}$  and  $d_v^{min}$  are the minimum and maximum variable node degrees respectively,  $d_c^{max}$  and  $d_c^{min}$  are the minimum and maximum check node degrees respectively and the fraction of edges which are connected to degree  $i$  variable nodes is denoted by  $\lambda_i$  and the fraction of edges which are connected to degree  $i$  check nodes, is denoted by  $\rho_i$  [1].

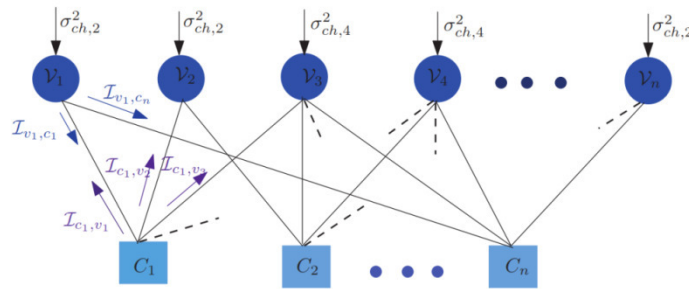


Fig. 1 Tanner graph representation of irregular LDPC code and exchange information flow between the CND and VND

### III. PUNCTURING PRELIMINARIES

An error correcting code can be considered to be the rate-adaptive codes when the information rate of the code is dynamically adapted to the communication channel requirement. We investigate the feature of rate-adaptability of the irregular LDPC codes by introducing the puncturing technique. Puncturing increases the rate of originally constructed code,  $(C(n, k))$ , by deleting a set of symbols from the codeword, where  $p < n$ . It then converts the code ensemble  $(C(n, k))$  into a new code ensemble  $C(n-p, k)$ . The punctured coding rate  $R_p$  is then increased to

$$R_p = \frac{k}{n-p} \quad (3)$$

where (3) can be written in the context of puncturing fraction as

$$R_p = \frac{R_m}{1-p} \quad (4)$$

where  $p$  represent the puncturing fraction and can be calculated for a given code rate using (4). We can further defined it with new name "overall puncturing" [1].

Then the overall puncturing fraction  $P$  can be defined as

$$P = \frac{1}{\varrho} \sum_i p_i v_i \quad (5)$$

where  $\varrho$  is variable node population types in the irregular LDPC code structure. In order to find the optimum puncturing fractions, can be used an efficient puncturing algorithm [1].

### IV. HYBRID RF/FSO CHANNEL

The puncturing technique was implemented in a hybrid channel (RF/FSO) [1]. System effectiveness were increased using a single pair of encoder and decoder. The goal was to decrease the computational complexity and cost of the communication system using single pair of encoder and decoder considering a slow varying channel with the additive white Gaussian noise (AWGN).

### A. FSO Channel Model

The FSO link employs intensity modulation with direct detection using two level-pulse amplitude modulation (2-PAM) transmission schemes. The received signal ( $y$ ) after the optical to electrical conversion is given by

$$y = \eta P x + z \quad (6)$$

where  $\eta$  is the photodetector efficiency which is assumed to be unity for simplicity,  $x \in \{0, 1\}$  is the transmitted optical symbols after puncturing,  $P^2$  is the optical received signal to noise ratio ( $\gamma$ ). Various noise models are possible including Poisson, signal dependent Gaussian and signal independent Gaussian noise [2].

### B. RF Channel Model

There is consider a line of sight (LOS) RF channel which is modeled as a fading free AWGN channel. Let  $P$  be the transmit RF power on the RF link, then the received RF noisy signal  $y$

$$y = \bar{P} x + z \quad (7)$$

where  $x \in \{+1, -1\}$  is the transmitted RF symbols after puncturing using binary phase shift keying (BPSK),  $z$  is the AWGN with zero mean and unit variance [1].

### C. Summary

In a hybrid FSO/RF communication system, we transmit data bits over two independent parallel channels. Previously researchers [6] have suggested a separate error-correcting code for each channel. Here, however, main goal is to design only one LDPC code. It is noted that the channel state information (CSI) is available at the transmitter so that the appropriate puncturing ratio can be selected. The ratio of the puncturing will be determined by the CSI. Puncturing will be suitable in order to incorporate different weather conditions. It will puncture the bits depending on weather condition and adapts the rate of transmission in a flexible fashion [1].

## V. CONCLUSION

There is shown a novel puncturing optimization algorithm for rate adaptation and analyses its performance for the hybrid FSO/RF channel case. The propose algorithm well adapted the different weather scenarios by providing the best threshold and the corresponding puncturing patterns. It distributes the amount of channel bits in an efficient way under equal and unequal channel conditions in a flexible fashion. Verifying this algorithm is the subject of my next work.

## ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by Cultural and Educational Grant Agency (KEGA) of the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic under the project no. „059TUKE-4/2015 - Implementation of the FSO Long-Term Experimental Measurement Results into the Educational Process in Optoelectronic Sensor and Communication Systems Field“, and project no. „006TUKE-4/2014 - The Use of TUKE PON Experimental Model in Teaching“. This work is also the result of the contract no. “APVV-0025-12-Mitigation of Stochastic Effects in High-Bitrate All Optical Networks” supported by the Slovak Research and Development Agency.

## REFERENCES

- [1] M. N. Khan, M. Jamil, M. Hussain, “*Adaptation of Hybrid FSO/RF Communication System Using Puncturing Technique*”, The University of Lahore, Pakistan, June, 2016.
- [2] M.N. Khan, W. Cowley, K. Nguyen, “*Link adaptation of FAHOR communication system*”, In Proceedings of the Australian Communications Theory Workshop (AusCTW). Wellington (New Zealand), 2012, p. 120–125. DOI: 10.1109/AusCTW.2012.6164917.
- [3] B. Makki, B. Svensson, T. Eriksson, et al. “*On the performance of RF-FSO links with and without Hybrid ARQ*”, IEEE Transactions on Wireless Communications, 2016, vol. 15, no. 7, p. 4928– 4943. DOI: 10.1109/TWC.2016.2549537.
- [4] H. Pishro-Nik, F. Fekri, “*Results on punctured low density parity check codes and improved iterative decoding techniques*”, IEEE Transactions on Information Theory, 2007, vol. 53, no. 2, p. 599–614. DOI: 10.1109/TIT.2006.889701.
- [5] M. N. Khan, M. Jamil, “*Maximizing throughput of free space communications system using puncturing technique*”, Arabian Journal for Science and Engineering, Nov. 2014, vol. 39, no. 12, p. 8925–8933. DOI: 10.1007/s13369-014-1451-6.
- [6] H. Tapsee, D. Borah, “*Hybrid optical/RF channels: characterization and performance study using low density parity check codes*”, IEEE Transactions on Communications, 2009, vol. 57, no. 11, p. 3288–3297. DOI: 10.1109/TCOMM.2009.11.080170.

# BER Performance of IM/DD FSO System and APD Receiver

<sup>1</sup>Peter STRNISKO, <sup>2</sup>Luboš OVSEŇÍK, <sup>3</sup>Ján TURÁN

<sup>1,2,3</sup> Department of Electronics and Multimedia Communications, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>ing.peter.strnisko@gmail.com, <sup>2</sup>lubos.ovsenik@tuke.sk, <sup>3</sup>jan.turan@tuke.sk

**Abstract** — In this paper, the performance of intensity modulated with direct detection (IM/DD) free space optical (FSO) system using the on-off keying (OOK) and avalanche photodiode (APD) receiver is observed. The gamma-gamma model is used to describe the effect of atmospheric turbulence since it provides good agreement in the wide range of atmospheric conditions. In addition, the same FSO system with equal gain combining applied at the reception is analyzed. After theoretical derivation of the expression for the bit error rate (BER), the numerical integration with previously specified relative calculation error is performed [1].

**Keywords** — avalanche photodiode, FSO communication system, gamma – gamma distribution, on – off keying.

## I. INTRODUCTION

In contrast to the radio frequency networks, free space optical communications (FSO) can provide many advantages, which cause FSO to become increasingly popular and studied over the past decade. However, the atmospheric turbulence causes rapid intensity fluctuations at the received FSO signal, also known as fading or scintillation [1]. In order to describe the impact of atmospheric turbulence, many statistical models have been proposed. Good agreement between theoretical and experimental data in a wide range of turbulence conditions was the reason that the gamma-gamma distribution has been accepted as the most suitable model [2], [3]. Beside the atmospheric turbulence, system performances are degraded by the geometric loss and atmospheric attenuation caused by the absorption and scattering processes [2].

Commercial FSO systems mostly deploy the intensity-modulation with direct detection (IM/DD) and the on-off keying (OOK), primarily because of the simplicity of its design and implementation [4]. The outage probability and channel capacity of FSO system with OOK over K – distributed channel was analyzed in [5].

At the FSO receiver with DD, the optical signal is first converted to an electrical one by a photodetector. All previously mentioned papers considered FSO systems with photodetectors using PIN photodiodes. The avalanche photodiodes (APDs) are widely used in optical receivers since they can provide larger values of responsivity [6]. The performance of APD receivers in FSO systems was considered in [7]. The expressions for the BER and channel capacity of the FSO systems using the subcarrier binary phase-shift keying and APD photodiode were discussed in [8]. The BER performance of the binary PPM over lognormal FSO channel was analyzed in [9].

In order to improve system performances, spatial diversity techniques are often applied as a method for mitigation of irradiance fluctuations caused by atmospheric turbulence [1].

In this paper, the IM/DD with OOK FSO system using APD receiver is observed. The atmospheric turbulence is modeled by very general gamma-gamma distribution. The impact of the receiver noise, including the APD shot noise and thermal noise, which are modeled as the additive white Gaussian noise, are taken into account. The BER expression for single-input and single-output (SISO) FSO channel is derived. In addition, the BER performance of the FSO system is observed when equal gain combining (EGC) diversity technique with two apertures is implemented at the reception [1].

## II. SYSTEM MODEL

The FSO system using IM/DD with OOK and APD receiver is shown in Fig. 1. At the transmitter, information bits are modulated by an electro-optical modulator IM/OOK whose

output represents the intensity of the laser source. Next, the direction and the size of the laser beam are determined by the transmitting telescope which forwards the optical signal to the receiver over the atmospheric channel. At the receiver, the received laser beam is narrowed by telescope and passed to the APD photodetector, which is in charge of the optical to electrical signal conversion.

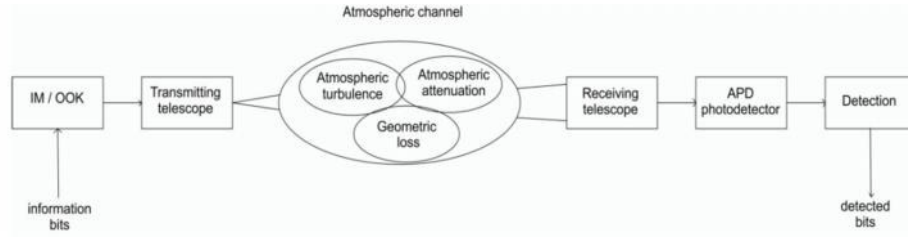


Fig. 1 Block diagram of the atmospheric turbulence FSO system using IM/OOK and APD receiver [1].

The instantaneous photocurrent at the input of the receiving APD photodetector, which corresponds to the information signal transmitted via laser beam, can be expressed as:

$$r = axI = \begin{bmatrix} r_{on} \\ r_{off} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a2P_tI \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

where  $a$  is the total link loss, and  $I$  is the normalized irradiance accounted for the intensity fluctuations due to atmospheric turbulence. The FSO system with OOK scheme is assumed, hence  $x$  represents the information *on* or *off* bit, it means, that  $x$  is either 0 or  $2P_t$  where  $P$  is the average transmitted optical power [1].

After APD conversion, the electrical signal is:

$$r_e = \begin{bmatrix} r_{e/on} \\ r_{e/off} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} gRr_{on} + n_{on} \\ gRr_{off} + n_{off} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} gRa2P_tI + n_{on} \\ 0 + n_{off} \end{bmatrix} \quad (2)$$

where  $g$  and  $R$  represent the average gain and responsivity of APD, respectively, and  $n$  is the total APD receiver noise different in *on* and *off* states. The total APD receiver noise is caused by shot noise, thermal noise and dark current. It is assumed that dark current is negligible, so  $n$  can be expressed as:

$$n = i_{Th} + i_{Sh} \quad (3)$$

where  $i_{Th}$  is the thermal noise and  $i_{Sh}$  is the APD shot noise. Thermal noise occurs due to the current fluctuation caused by the electrons thermal motion at any finite temperature, even in the absence of the signal transmission (*off* state). It does not depend on APD parts and can be modeled as the stationary Gaussian random process with the zero-mean value.

Unlike thermal noise, the APD parts have effect on shot noise. The atmospheric turbulence causes the fluctuation in the received optical power and leads to uncertain in the shot noise variance. The shot noise can be modeled as the stationary zero-mean Gaussian random process [2].

### III. CHANNEL MODEL

The optical signal transmission over the FSO channel is disrupted by atmospheric turbulence, attenuation and geometric loss. The atmospheric turbulence is modeled by the gamma-gamma distribution given by [2], [4]

$$p_I(I) = \frac{2(\alpha\beta)^{(\alpha+\beta)/2}}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} I^{(\alpha+\beta)/2-1} K_{\alpha-\beta}(2\sqrt{\alpha\beta}I) \quad (4)$$

where  $\Gamma(\cdot)$  is the gamma function and  $K(\cdot)$  is the  $\nu^{\text{th}}$  order modified Bessel function. The parameters  $\alpha$  and  $\beta$  represent the effective numbers of small-scale and large scale cells, respectively, and can be related to the atmospheric conditions.

The atmospheric attenuation and geometric loss are described by total link loss given by:

$$a = \frac{A}{\pi(\frac{\theta L}{2})^2} e^{-\beta_v L} \quad (5)$$

where  $\beta_v$  denotes the extinction coefficient,  $L$  is the link distance,  $\theta$  is the angle of divergence in radians and  $A$  is the detector area at receiver equals to  $A = D^2/4$  where  $D$  represents the diameter of the receiver's aperture [1].



#### IV. SISO CHANNEL

The conditional BER of FSO using IM/DD with OOK is determined as

$$P_{e/I} = P(on)P(off|on) + P(off)P(on|off) \quad (6)$$

where  $P(on)$  and  $P(off)$  represent the probabilities of transmitting *on* and *off* bits, respectively,  $P(off|on)$  is the probability of detecting *off* bit when *on* bit is sent and  $P(on|off)$  is otherwise. The previous BER is conditional on the received optical signal that is random process whose probability density function is given by (4).

The simplicity in design and implementation are the main reason for employing OOK in commercial FSO systems. However, it is needed to set a decision threshold, which is a major problem in this system realization [1].

The conditional BER for the considered system is in the form of

$$P_{e/I} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{Q(I)}{\sqrt{2}} \right) \quad (7)$$

where the parameter  $Q(I)$  is given by

$$Q(I) = \frac{d_{on} - d_{off}}{\sigma_{n/on} + \sigma_{n/off}} = \frac{gRa2P_t I}{\sigma_{n/on} + \sigma_{n/off}} \quad (8)$$

#### V. CONCLUSION

In this paper, the BER performance of FSO system using IM/DD with OOK and APD receiver has been observed. The efficient numerical method for BER calculation for the wide range of the values of the channel and receiver parameters has been presented. The optimal APD gain in the minimum BER sense is considerably influenced by FSO link distance, receiver temperature and turbulence conditions. This optimal gain increases with increasing distance and temperature. The proper choice of optimal APD gain is especially important in the more severe atmospheric turbulence, as well as in the case of small distances and low temperature values. The system performance can be significantly improved with proper selection of the optimal APD gain. In addition, the BER performance can be significantly improved by implementation of dual branch EGC technique.

#### ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by Cultural and Educational Grant Agency (KEGA) of the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic under the project no. „059TUKE-4/2015 - Implementation of the FSO Long-Term Experimental Measurement Results into the Educational Process in Optoelectronic Sensor and Communication Systems Field“, and project no. „006TUKE-4/2014 - The Use of TUKE PON Experimental Model in Teaching“. This work is also the result of the contract no. “APVV-0025-12-Mitigation of Stochastic Effects in High-Bitrate All Optical Networks” supported by the Slovak Research and Development Agency.

#### REFERENCES

- [1] M. I. Petkovič, G. T. Dordevič, D. N. Milič, “BER Performance of IM/DD FSO System with OOK using APD Receiver”, The University of Niš, Radioengineering, Vol. 23, No. 1, April 2014.
- [2] L. C. Andrews, R. N. Phillips, “Laser Beam Propagation through Random Media”, 2<sup>nd</sup> edition Bellingham (USA): Spie Press, 2005.
- [3] W. Gappmair, S. Hranilovič, E. Leitgeb, “OOK Performance for terrestrial FSO links in turbulent atmosphere with pointing errors modeled by Hoyt distributions”, IEEE Communications Letters, 2011 vol. 15, no. 8, pp. 875-877.
- [4] Z. Ghassemlooy, W. Popoola, S. Rajbhandari, “Optical Wireless Communications: System and Channel Modelling with Matlab”, Boca Raton (USA): CRC Press, 2013.
- [5] H. G. Sandalidis, T. Tsiftsis, “Outage probability and Ergodic capacity of free – space optical links over strong turbulence”, Electronic Letters, 2008, vol. 44, no. 1, pp. 46-47.
- [6] G. P. Agrawal, “Fiber-Optic Communications System. 3<sup>rd</sup> ed.”, New York: John Wiley & Sons, 2002.
- [7] B. T. Vu, N. T. Dang, C. T. Truong, A. T. Pham, “Bit error rate analysis of rectangular QAM/FSO systems using an APD receiver over atmospheric turbulence channels”, IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, 2013, vol. 5, no. 5, pp. 437 - 446.
- [8] B. T. Vu, N. T. Dang, C. T. Truong, A. T. Pham, “Effect of avalanche photodiode and thermal noises on the performance of binary phase-shift keying-subcarrier-intensity modulation/free-space optical systems over turbulence channels”, IET Communications, 2013, vol. 7, no. 8, pp. 738 - 744.
- [9] K. Kiasaleh, “Performance of APD-based, PPM free-space optical communication systems in atmospheric turbulence.”, IEEE Transactions on Communications, 2005, vol. 53, no. 9, pp. 1455 - 1461.

# Video-Based Monitoring Of Vital Signs

<sup>1</sup>Roman VÁPENÍK, <sup>2</sup>Simona ČISÁROVÁ, <sup>3</sup>František JAKAB

<sup>1, 2, 3</sup> Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, The Slovak Republic

<sup>1</sup>roman.vapenik@tuke.sk, <sup>2</sup>simona.cisarova@student.tuke.sk, <sup>3</sup>frantisek.jakab@tuke.sk

**ABSTRACT** — The article is focused on the processing of information and the application of computer vision in the way of monitoring life functions. The video tracking process is analyzed significantly by usage of the available methods, which are used to monitor basic life functions. From all the available solutions for implementation suggestions, the most appropriate is determined according to the defined conditions and definitely the implementation of an experimental solution for monitoring the life functions of a person is realized as precisely as possible. Finally, the results – which were obtained through selected available methods – will be evaluated.

**Keywords** — Android studio, Eulerian Video Magnification, OpenCV, Vital function

## I. INTRODUCTION

The essence of this article is to detect the basic life functions of a human being using a video record. Civilization is advanced, science is increasing at high speeds, and people are born more and more. The effect of growing population is visible in the world where the number of new diseases is rising. These diseases are often caused by the absence of abnormal symptoms in normal/regular health tests of life functions. The neglect of medical visits encouraged the increasing attendance by a doctor. Doctors are fewer so not all of them have basic health care. The target group of the people that will be pointed out, are older people, hospitalized patients and newborns. These are the most complicated categories of people for monitoring their vital function. For the reason that all of these people have a problem with long-term monitoring, idea of monitoring vital function is realized by video record. Video is one of the most popular media and it is using in every way for example smartphones use camera connection, Kinect, television. Video is more popular than it ever was. The thought of all these artefacts is described in this article about application - which can use camera connection and via the camera can evaluate the vital functions of people. Nowadays, there are many prototypes that are not used in medicine yet, however, according to the latest statistics, this method may become a basic form of lifetime monitoring for several years to make it easier for the doctors and patients to increase comfort. It is the precondition that the application will be available for each user by using the smart device. The article describes the available methods and presents the prototype of application which can calculate your pulse rate via camera recording. By implementation, they are using two important methods: the first one is the viola and jones method that can detect faces from people. The second one (very important method) is the Eulerian Video based method which help for process in video and finally it can calculate the pulse rate.

## II. MONITORING OF VITAL FUNCTIONS

In medicine, monitoring is understood as observation of a disease, condition or one or more health parameters that are given at time. Observation can be realized by constantly measuring certain parameters by means of devices for the regular measurement of vital functions performed by a physician using the monitor. Vital signs are measurements of the body's most basic functions. The four main vital signs routinely monitored by medical professionals and health care providers include the body temperature, pulse rate, respiration rate (rate of breathing), blood pressure Vital signs are useful in detecting or monitoring medical problems. Vital signs can be measured in a medical setting, at home, at the site of a medical emergency, or elsewhere. Nowadays, doctors are working with devices that are available only in hospital for example the electrocardiogram ECG device is known for the process of recording the electrical activity of the heart over a period of time using electrodes placed on the skin. These electrodes detect the tiny electrical changes on the skin that arise from the heart muscle's electrophysiological pattern of depolarizing and repolarizing during each heartbeat. It is a very

commonly performed cardiology test. The full ECG setup comprises at least four electrodes which are placed on the chest or at the four extremities according to standard nomenclature (RA = right arm; LA = left arm; RL = right leg; LL = left leg). Of course, variations of this setup exist in order to allow more flexible and less intrusive recordings, for example, by attaching the electrodes to the forearms and legs. ECG electrodes are typically wet sensors, requiring the use of a conductive gel to increase conductivity between skin and electrodes. Throughout the cardiac cycle, blood pressure throughout the body increases and decreases – even in the outer layers and small vessels of the skin. Peripheral blood flow can be measured using optical sensors attached to the fingertip, the ear lobe or other capillary tissue. The device has an LED that sends light into the tissue and records how much light is either absorbed or reflected to the photodiode. They are not as accurate as ECG recordings, PPG clips use dry sensors and can be attached much quicker compared to ECG setups, making their use easier and less bothersome for participants. ECG parameters record heart rate data and gives you access to the following parameters that can be interpreted with respect to one's arousal:

Heart Rate (HR). HR reflects the frequency of a complete heartbeat from its generation to the beginning of the next beat within a specific time window. It is typically expressed as beats per minute (bpm). HR can be extracted using ECG and PPG sensors. Inter-Beat Interval (IBI). The IBI is the time interval between individual beats of the heart, generally measured in units of milliseconds (ms). Typically, the RR-interval is used for the analysis.

Heart Rate Variability (HRV). HRV expresses the natural variation of IBI values from beat to beat. HRV is closely related to emotional arousal: High-frequency (HF) activity has been found to decrease under conditions of acute time pressure and emotional stress. Also, HRV seems to be significantly reduced in individuals reporting a greater frequency and duration of daily worry, as well as in patients suffering from post-traumatic stress disorder (PTSD). For IBI and HRV analysis, ECG sensors are recommended as they are more sensitive to certain signal characteristics which PPG sensors cannot pick up

### III. DESIGN PART OF MONITORING

For the four basic vital function, breath monitoring, eye monitoring, monitoring of consciousness and pulse monitoring will designed different possibilities. The breath monitoring can be executed by monitor the position of arms or monitor chest volume. When people breathe their chest get bigger; when they breathe and get less when they breathe out. That is a similarly process by monitoring of arms position, when people breathing they arms go up and when they breathe out their arms goes down. This is the way that can be implemented an application that can monitor if people are breathing or not. Another monitoring is monitoring people's eyes. The fact is that people do not have much control over our pupils: when too much sun outside their pupil is very little and when dark the pupil is bigger. But this is very exacting process because by tracking people's eyes will be needed high k5 camera. So this is an expensive implementation, but not unreal to implement. Monitoring of consciousness can be provided by monitor of people movement. Application via camera will scan if human is moving or not. Based on the movement can the application evaluate if human is alive or he died. The information about death will be provided by an advice for example when application detects that human do not move for 10 minutes application send a signal to smartphone and the smartphone will ring until the human do not cancel the sound. In this implementation of monitoring consciousness can be have many extensions. For example, the application can have a button that can set up the sleeping mode. About pulse monitoring implementation, the article writes in V capitol. Although, the most imported thing in pulse monitoring is face detection, because from the human face can be extract the pulse rate. The application use smartphone or another device with available camera. All of these designs of monitoring vital functions are possible by using correct algorithm and methods.

### IV. FACE DETECTION AND PULSE METHOD

The Viola–Jones object detection framework is the first object detection framework to provide competitive object detection rates in real-time proposed in 2001 by Paul Viola and Michael Jones [1] [2]. Although it can be trained to detect a variety of object classes, it was motivated primarily by the problem of face detection. This paper brings together new algorithms and insights. This framework is demonstrated and partially motivated by the task of face detection. This face detection system is most clearly distinguished from previous approaches in its ability to detect faces extremely rapidly. Operating on 384 by 288 pixel images, faces are detected at 15 frames per second on a conventional 700 MHz Intel Pentium III. In other face detection systems, auxiliary information, such as image differences in video sequences, or pixel color in color images, have been used to achieve high frame rates. System

achieves high frame rates working only with the information present in a single grey scale image. The detection method presented an approach for face detection which minimizes computing time while achieving high detection accuracy. This method brings together new algorithms, representations, and insights that are quite generic and may well have a broader application in computer vision and image processing. The algorithm is focused to be able to detect the human face, but at beginning the process it have to learn it firstly. This process is called slow training. The algorithm detects a face in a square-size, solid-state square where it uses simple rectangular flags. This is called data enhancement known as the AdaBoost algorithm. AdaBoost is the abbreviation for data reinforcement from the English word adaptive boosting. Then is the image converted into an integral image that allows for a very quick and efficient calculation of simple elements. The transformation of the original image into the integral image is that if we take any coordinate of the integral picture, the given point contains the sum of all simple elements that lie and from the given point to the left and also upwards from the selected coordinate. The number of operations and the number of points to be counted depends on what kind of layout of the basic units, in our case the rectangles, is selected. This algorithm greatly reduces the error of the learning algorithm, which gives results better than random tipping. Rectangular symptoms as one of the most effective symptoms are used to quickly evaluate which human face is at all in the record. In addition to the AdaBoost algorithm, there are also a number of Haar's filters that use a Viola and Jones method to detect the image. Haar's filters are surface detectors for the characteristic features of the object in this case it is a human face. The response for subtraction of haul filters and flags is the number resulting from the difference in luminance values under the light and dark portions. The image is the calculated number of responses to the flags that can be used to evaluate the presence of the object. The computation of the Viola-Jones detection is very effective especially when introducing an integral image whose function is described in the journal [3]. An integer image is a representation of an input image in which the luminance values of the individual pixels are calculated in rows and columns. New technique for computing and a rich set of image features using the integral image. In order to achieve true scale invariance, almost all face detection systems must operate on multiple image scales. The integral image, by eliminating the need to compute and multi-scale image pyramid, reduces it. The initial image processing required for face detection significantly. Using the integral image, face detection is completed in almost the same time as it takes for an image pyramid to be computed. While the integral image should also have immediate use for other systems, which have used features such as Haar's [4]. Technique for constructing a cascade of classifiers which radically reduces computation time while improving detection accuracy. Early stages of the cascade are designed to reject a majority of the image in order to focus subsequent processing on promising regions. One key point is that the presented cascade is quite simple and homogeneous in structure. A homogeneous system, besides being easy to implement and understand, has the advantage that simple tradeoffs can be made between processing time and detection performance.

The human visual system has limited spatial-temporal sensitivity, but many signals that fall below this capacity can be informative. To give an instance, human skin color varies slightly with blood circulation. This variation, while invisible to the naked eye, can be exploited to extract pulse rate. Similarly, motion with low spatial amplitude, while hard or impossible for humans to see, can be magnified to reveal interesting mechanical behavior. The success of these tools motivates the development of new techniques to reveal invisible signals in videos. The method shows that a combination of spatial and temporal processing of videos can amplify subtle variations that reveal important aspects of the world around us [5].

The algorithms that make this work possible are simple, efficient, and robust. Through the processing of local color or phase changes, we can isolate and amplify signals of interest. This is in contrast with earlier work to amplify small motions<sup>13</sup> by computing per-pixel motion vectors and then displacing pixel values by magnified motion vectors [6]. That technique yielded good results but it was computationally expensive, and errors in the motion analysis would generate artifacts in the motion magnified output. As we will show, the secret to the simpler processing described in this article lies in the properties of the small motions themselves. Making small color changes and motions visible adds a dimension to the analysis that goes beyond simply measuring color and position changes. The visualization lets a viewer interpret the small changes, and find patterns that simply measuring numbers would not reveal. It builds intuition and understanding of the motions and changes being revealed. We show results of Eulerian video magnification in a wide variety of fields, from medicine and civil engineering to analyzing subtle vibrations due to sound.

## V. IMPLEMENTATION

However, breathing is associated with movement of the upper thorax and regions of the face. The changes in the amplitude of the PPG waveform is caused by breathing-synchronous motion that can be extracted through band-pass filtering and spectral analysis. In addition, respiratory rate can also be estimated directly through motion-tracking techniques, well known in the computer vision community. A second MIT group has been developing Eulerian video magnification techniques to track and amplify the motion-related changes caused by breathing in the videos of human subjects, including neonates, recorded under normal lighting conditions. That was the inspiration for implementation a mobile application which can be used by everyone - especially for doctors and patients. The implementation is built on two important methods. At first the application uses the camera for detection human faces and then uses the information from video and then starts with process that calls Eulerian Magnification. In the article is presented closer specification of how the application works and how different algorithm works together.

An application that monitors life features has been developed specifically for mobile devices that support the Android operating system. The application is tailored to the monitoring of one life function, which is the person's pulse based on face detection. This application is different as other monitoring devices, because of the others devices it do not use any connection with human leather. It can be used by smartphones that use Android operation system especially the version 5.1 Lollipop besides the operation system it use the OpenCV library. By installing the

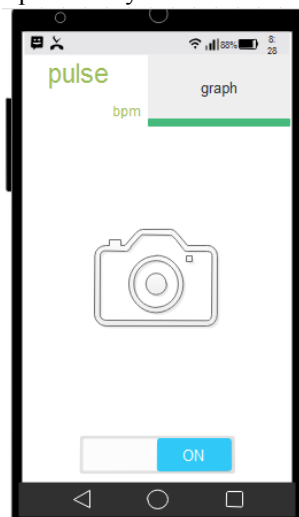


Figure 1 Front screen with available camera connection

OpenCV 2.4.11 library, it supports communication and image processing on a mobile device using the front camera of the device. The library is also used by detection of human faces; for this process of detection is apply the Viola and Jones method. Application start with turn on the camera which is available in the device (smartphone), but when the camera is not available the application can not start with monitoring the pulse rate.

When the application successfully starts with the camera connection it turns on the front screen which can be available on Figure 1. The application reacts to the touch, so its control will be controlled by touching the screen. In addition to the button for turning video on and counting the pulse, the application includes a pulse value and a heart rate process in the form of a graph, which is also shown during the on-screen recording.

### A. Face Detection

The detection of objects is computationally demanding. At the beginning with default detection is in the application screen display a framed area where it is necessary to adjust the face. This face box determines the minimum face detector size that is set to 40% of the width and height of the image. When algorithm starts with detecting, it is necessary stay quiet for the person who is detected by the camera. The camera adjusts to the face and the detection is done once per second. Face Detection is based on the Viola-Jones algorithm, which does not take individual pixels for the input, but uses Haar's filters witch discloses the functionality the article in III capitol. Integral images are used to speed up the use of Haar's filters. The entire image is passed through a small window for which the cascade of qualifiers decides whether the search object can be located. This approach is done to speed up detection because the cascade of qualifiers is

built from the strongest to the weakest, and if the window is discarded, the detection is no longer performed.

### B. Pulse rate

The whole process of calculating, gaining signal values and blood flow in the face of man is pre-prepared and mediated by MIT scientists who have developed open-source software that can reveal details in videos that are otherwise invisible[7]. This software can reveal pumping blood under the skin of a person with such detail that he can accurately measure heart rate. The Pulse.cpp library is available from this software. The mode of operation is needed in the application and is used after a thoroughly dilated face that allows two facets to be obtained from the detected person - the plane of the frontal area and the plane of the carrier region. Face detection is performed on images of the original video, and the acquired position positions are converted to a reduced image of the highest pyramid level, which means that the Gaussian pyramid logic is used. After shrinking the image, the video is used for further processing, where the average green channel value is calculated from these reduced areas in the image to produce a 1D signal in real-time real-time averages. This signal measures the pulse and detects the local peak of the signal. Next, the distance between the signals in each area is counted and the median is selected. Based on the median and sampling rate, the number of strokes per minute is counted. In order to convert extracted signals measured by volume change and blood flow to a signal corresponding to the number of beeps per minute, additional video processing is needed. An alternate method is used in which it is necessary to evaluate the magnitude of the intensity of the signal intensity according to the size for the purpose of performing the arterial wave detection. To achieve this, it is necessary to use the Fourier Transform to calculate the signal intensity value and multiply the resultant Fourier Transform separately when the values are captured from the video. Then, the time function is actually discrete, the rate being equal to the frame rate of the video. This is the estimate of the arterial frequency from the extracted signal. For this mathematical calculation, the prescribed algorithm is presented as an automated algorithm for detecting fast pulse waves. The algorithm is able to obtain pulse rate values from the PPG signal. This is one way to get the BPM calculation you want. The solution is found out in identifying possible peaks and curves of individual pulses. There are two possibilities that can occur when identifying the maximum and minimum curves.

## VI. CONCLUSION

The presented article described the most important algorithm and methods which are used in application. The final prototype version of application was tested and also we provided some rating of application. The application version was tested on LenovoVibe K5 Dual SIM mobile device with an Android 5.1 Lollipop version. To run the application successfully, you need to install version 2.4.11 of the OpenCv library on your device. The application does not guarantee successful execution on lower or higher versions of API, since support for OpenCV libraries is partially different in versions, but it is recommended to use Android version 5.1 for testing the success of the application. The version of the application is not considered the final version because it still uses the old version 2.4.11 of OpenCV and that is not available in the Google Play store, so you must have a mobile device when you run an application connected to a computer and installs the correct version of OpenCV manually. Testing useless of application was performed in tree forms. First at all were to find out if the application calculate human pulse rate from video correct, so therefore was make a test with all available monitoring device which can calculate pulse rate with leather connection. With the digital barometer was found

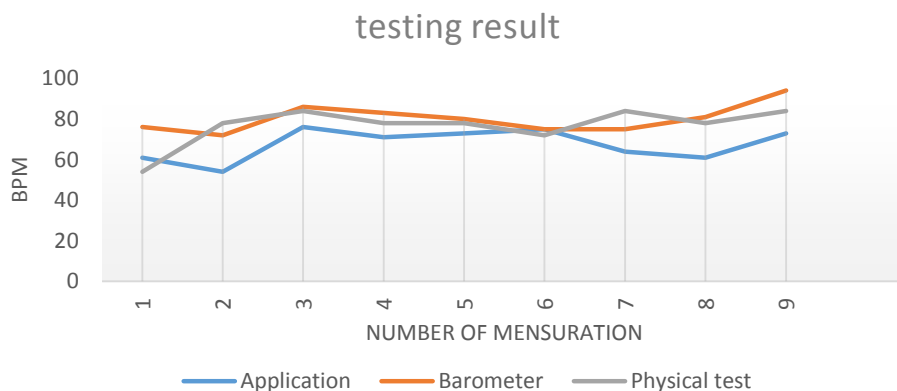


Figure 2 The result of compare all mensuration devices

that the application calculate pulse rate with slight deviation, but for the accuracy was make an another test but this time it was physical test which mean that during the application was turn on human touch his artery and calculate number of beats per one minute. With this test was found that between application and physical test was slight deviation too. Finally, the last test was between two application differences: the first one was that application calculated pulse rate from video and another one from touch. Even in the third test, it was found that the application calculate pulse rate with slight deviation, but this time was the deviation very close and the pulse rate was sometimes same in both applications. The testing result are viewed in Figure 2, where are showed the different values by menstruation at the same time when the application was turned on.

Application has still shortage but the implementation part points to the functionality of the selected methods and algorithms, that were mentioned in this article which analysis the tracking methods. Implementation used face detection by using the Viola and Jones method and Eurellian Magnification method for video editing. The work goal was successful because the application was created, which records heart rate and can calculate the pulse with little deviation and without touching the leather.

#### ACKNOWLEDGMENT

This paper is the result of the Project implementation: University Science Park TECHNICOM for Innovation Applications Supported by Knowledge Technology, Phase II. ITMS: 313011D232, supported by the Research & Innovation Operational Programme funded by the ERDF. We support research activities in Slovakia/This project is being co-financed by the European Union

#### REFERENCES

- [1] VIOLA, Paul; JONES, Michael. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. In: Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. CVPR 2001. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on. IEEE, 2001. p. I-I.
- [2] VIOLA, Paul; JONES, Michael. Robust real-time object detection. International Journal of Computer Vision, 2001, 4.34-47.
- [3] [10]. KARHUNEN, Juha, et al. Applications of neural blind separation to signal and image processing. In: Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1997. ICASSP-97., 1997 IEEE International Conference on. IEEE, 1997. pp. 131-134.
- [4] VIOLA, Paul; JONES, Michael J. Robust real-time face detection. International journal of computer vision, 2004, 57.2: 137-154.
- [5] LASHUK, Ilya, et al. The magazine archive includes every article published in Communications of the ACM for over the past 50 years. *Communications of the ACM*, 55.5: 101-109.
- [6] TARASSENKO, L., et al. Non-contact video-based vital sign monitoring using ambient light and auto-regressive models. *Physiological measurement*, 2014, 35.5: 807.
- [7] LEWANDOWSKA, Magdalena, et al. Measuring pulse rate with a webcam—a non-contact method for evaluating cardiac activity. In: Computer Science and Information Systems (FedCSIS), 2011 Federated Conference on. IEEE, 2011. pp. 405-410.

# Návrh elektrickej inštalácie rodinného domu využitím programu Eplan

<sup>1</sup>Matej BEDNÁR, <sup>2</sup>Stanislav ILENIN

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>matej.bednar@student.tuke.sk, <sup>2</sup>stanislav.ilenin@tuke.sk

**Abstrakt** — Tento článok je zameraný na návrh elektrickej inštalácie v rodinnom dome pomocou programu Eplan. Zaoberá sa legislatívou v oblasti elektrických inštalácií, zjednodušenou teóriou, ktorá je potrebná pri návrhu elektrickej inštalácie a na koniec samotným návrhom elektrickej inštalácie rodinného domu v programe Eplan s príslušnými výstupmi z programu.

**Kľúčové slová** — Eplan Electric P8, elektrická inštalácia, klasická elektrická inštalácia, norma, návrh elektrickej inštalácie

## I. ÚVOD

V dnešnej dobe pri tempe akým žijeme si už vôbec nevieme predstaviť život bez elektrickej energie. Ľudstvo je až nevyliciteľne závislé na využívaní elektrických zariadení dennej potreby. Táto závislosť poukazuje na dôležitosť dobrej elektrickej inštalácie. Nová a bezchybne zrealizovaná elektrická inštalácia dokáže zabezpečiť bezpečnosť a spoľahlivosť dodávky elektrickej energie.

Záležitosť dnešnej zvýšenej spotreby elektrickej energie sa netýka len novostavieb, ale aj starších rodinných domov alebo budov občianskeho vybavenia. U takýchto starších stavieb je stav elektrickej inštalácie v mnohých prípadoch nevyhovujúci. Spôsob odvrátenia nebezpečenstva spojeného s úrazom elektrickým prúdom alebo zlyhaním izolačných vlastností a následného požiaru spočíva len vo výmene starej elektrickej inštalácie za novú podľa aktuálnych elektrotechnických noriem.

## II. LEGISLATÍVNY RÁMEC ELEKTRICKÝCH INŠTALÁCIÍ

Pri navrhovaní elektrickej inštalácie je potrebné poznať zákony, normy a vyhlášky, ktoré pojednávajú o samotných elektrických inštaláciách a zásahoch do nich. Prvý krok pri tvorbe novej inštalácie je zásah do muriva objektu. Tento zásah povoľuje stavebný zákon č. 50/1976 Z.z o územnom plánovaní a stavebnom poriadku. Tento stavebný zákon v jednom z bodov hovorí o tom, že na opravu alebo výmenu vnútorných elektrických rozvodov uložených pod omietkou nie je potrebné žiadať o žiadne stavebné povolenie.

Základné požiadavky na elektrické inštalácie z hľadiska elektrotechnickej a protipožiarnej bezpečnosti obsahuje súbor noriem STN 33 2000. Tieto normy majú uplatnenie v objektoch obytných budov, budov občianskeho vybavenia, priemyselných podnikov, poľnohospodárskych a záhradných budov, budov z prefabrikovaných prvkov, obytných prívosov a autokempingov, v objektoch s dočasnou elektrickou inštaláciou a súkromných prístavov. Napät'ová sústava používaná v týchto objektoch môže byť až do 1000 V AC pri frekvenciách 50 až 60 Hz alebo 1500 V DC. Požiadavky, ktoré sú kladené na tieto inštalácie musia byť splnené [1].

Základné predpisy pre elektrické inštalácie udáva norma STN 33 2130, podľa ktorej elektrický rozvod musí spĺňať tieto požiadavky:

- Bezpečnosť osôb, zvierat a majetku
- Spoľahlivosť prevádzky
- Prehľadnosť elektrických rozvodov
- Hospodárne využitie prvkov
- Zamedzenie nepriaznivých a rušivých napätí pri krížení vedení
- Estetický vzhľad

S príchodom nových noriem sa medzi požiadavky, ktoré musia spĺňať nové a zrekonštruované elektrické inštalácie pridali ďalšie podmienky:

- Všeobecné zavedenie sústavy TN – S v celom objekte



- Použitie prúdových chráničov pre predpísané obvody, uvedené v príslušných normách
- Použitie medi pre všetky vodiče pod 16 mm<sup>2</sup>
- Pri administratívnych budovách vypracovať aj projekt osvetlenia
- Zriadenie hlavného ochranného pospájania
- Pri čiastočnej rekonštrukcii prerobenie sústavy TN-C na TN-C-S [2]

### III. POŽIADAVKY NA ELEKTRICKÉ INŠTALÁCIE

Súčasťou krokov pri navrhovaní elektrickej inštalácie je aj správne určenie vonkajších vplyvov na elektrické zariadenia, správne nadimenzovanie vodičov, znalosť inštalčných zón, istenie obvodov a aj vyhotovenie samotných elektrických obvodov.

#### A. Určenie vonkajších vplyvov

Správne určenie vonkajších vplyvov, ktoré budú vplývať na elektrickú inštaláciu sa odráža na stupni ochrany pred zásahom elektrickým prúdom, na samotnej spoľahlivosti prevádzky elektrického zariadenia a na jeho životnosti. Elektrické zariadenia v objektoch sa používajú v rôznych priestoroch s rozdielnou atmosférou, vlhkosťou a prašnosťou. Pri nesprávnom určení vonkajších vplyvov sa nesprávne určí stupeň krytia IP elektrických zariadení. Pri nedostatočnom krytí proti vplyvu prostredia môže dôjsť k poškodeniu elektrických strojov vplyvom zvýšenej vlhkosti, zásahom vody alebo usádzaním prachu na kontaktoch, čo vedie k potenciálnemu nebezpečenstvu pre obsluhu. Vonkajšie vplyvy sa určujú podľa normy STN 33 2000-5-51 [3].

#### B. Dimenzovanie vodičov a káblov

Tento bod pri návrhu elektrickej inštalácie je dôležitý z pohľadu správneho určenia prierezu vodičov, ktoré budú pri výstavbe použité. Problematiku dimenzovania vodičov rieši norma STN 33 2000-5-52 Výber a stavba elektrických zariadení, Elektrické rozvody. Dodržovaním tejto normy sa má zaručiť vhodný a hospodárny výber vodičov a káblov, ktoré budú spĺňať svoju úlohu pri normálnej prevádzke ale aj pri poruche. Túto úlohu majú správne nadimenzované vodiče a káble spĺňať pri napätiach až do 1000 V AC a 1500 V DC pri rôznych spôsoboch uloženia a rôznej výkonovej zaťažiteľnosti. Podľa požiadaviek normy sa pri návrhu a kontrole zvolené vodiče a káble kontrolujú podľa týchto hľadísk: mechanická pevnosť a odolnosť voči vplyvom prostredia, zaistenie správnosti funkcie ochrany pred úrazom elektrickým prúdom, dovoľená prúdová zaťažiteľnosť, odolnosť voči účinkom skratových prúdov, dovoľená prevádzková teplota jadier a izolačných systémov, dovoľený úbytok napätia a hospodárnosť prierezu jadra vodiča [4].

Tabuľka 1  
 Minimálne prierezy vodičov podľa STN 33 2000-5-52

TYP ELEKTRICKÉHO ROZVODU		POUŽITIE OBVODU	VODIČ	
			Materiál	Prierez (mm <sup>2</sup> )
Pevné inštalácie	Káble a izolované vodiče	Silové a svetelné obvody	Med'	1,5
			Hliník	Musí byť v zhode s normou pre kábel IEC 60228 (10mm <sup>2</sup> )
		Signalizačné a radiacie obvody	Med'	0,5 (pozn.1)
	Holé vodiče	Silové obvody	Med'	10
			Hliník	16
		Signalizačné a radiacie obvody	Med'	4
Pripojenia s ohybnými izolovanými vodičmi a káblami		Pre špecifický spotrebič	Med'	Ako je špecifikované v príslušnej norme
		Na akékoľvek iné použitie		0,75 (pozn.1)
		Obvody malého napätia pre špeciálne aplikácie		0,75

Pozn.1: V signalizačných a radiacích obvodoch určených pre elektronické zariadenia a pre viacžilové ohybné káble obsahujúce 7 a viac žíl je dovoľený min. prierez 0,1mm<sup>2</sup>

#### C. Inštalčné zóny

Inštalčné zóny skrytých vedení (pod omietkou) platia pre umiestňovanie vedení a pre umiestňovanie zásuviek, vypínačov, vývodov a iných vedení v budovách určených na bývanie. Tieto inštalčné zóny neplatia pre povrchové inštalácie. Najhlbšia podstata inštalčných zón je zjednotené umiestňovanie vedení v miestnostiach a to z dôvodu montáže alebo budúcej opravy a predchádzaniu poškodenia vedení a následným neprijemnostiam a škodám.

Inštalračné zóny sa rozdeľujú [2]:

- podľa smeru natočenia, na vodorovné a zvislé;
- podľa výšky nad podlahou, na dolné, stredné a horné zóny;
- podľa umiestnenia voči prvkom miestnosti, na dverné, okenné a rohové.

#### D. Obvody elektrickej inštalácie a ich istenie

Počas prevádzkovania elektrických sietí musíme počítať s možnosťou, že sa vyskytnú aj isté problémy a poruchy. Tieto problémy či poruchy majú veľa príčin, ako sú napríklad atmosférické vplyvy, starnutie materiálov izolácií, chyby riadiacich prvkov alebo chybný zásah človeka. V inštaláciách nízkeho napätia (do 1 000 V) sa vyskytujú preťaženia, prepätia alebo skraty. Preťaženia nadprúdom spôsobujú urýchlene starnutie a nadmerné namáhanie materiálu izolácií. Krátkodobé preťaženia nadprúdom, nespôsobujú poškodenia. Ale dlhodobé preťaženia nadprúdom, ktorého nepriaznové účinky sa stupňujú v závislosti od dĺžky preťaženia sú nebezpečné tým, že spôsobujú tepelné namáhanie vedení a degradáciu izolácie.

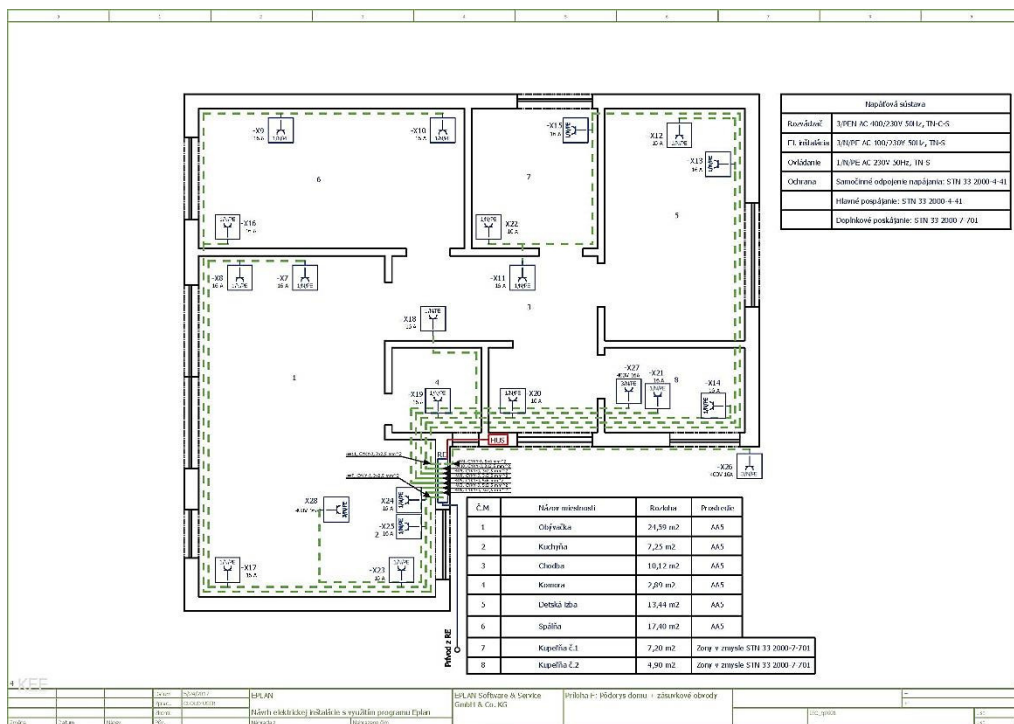
Prepätie je krátkodobé zvýšenie napätia vedenia nad menovú hodnotu. Tieto prepätia sa vyskytujú v sieťach počas napätových špičiek, ktoré napätie zvyšujú nad menovú hodnotu. Aj krátkodobé zvýšenie napätia môže pôsobiť devastačne na izoláciu vedenia, ale aj na samotný elektrický spotrebič.

Skraty sú najčastejší typ poruchy na vedeniach. Počas skratu sa hodnota prúdu aj niekoľko násobne zvýši nad hodnotu menovitého prúdu. Pri skrate sú vodiče vedení a ich izolácie vystavované dynamickému a tepelnému namáhaniu.

Kvôli výskytu týchto porúch sa musia elektrické vedenia a spotrebiče istiť pomocou elektrických ochrán. Nadimenzovanie ochrán je kľúčové pre ich správne fungovanie a ochranu vedení. Správny výber ochrán a ich následná inštalácia zabezpečí dokonalú ochranu vedení, ktoré táto ochrana odpojí a tým predíde nebezpečným situáciám a vplyvom počas skratu.

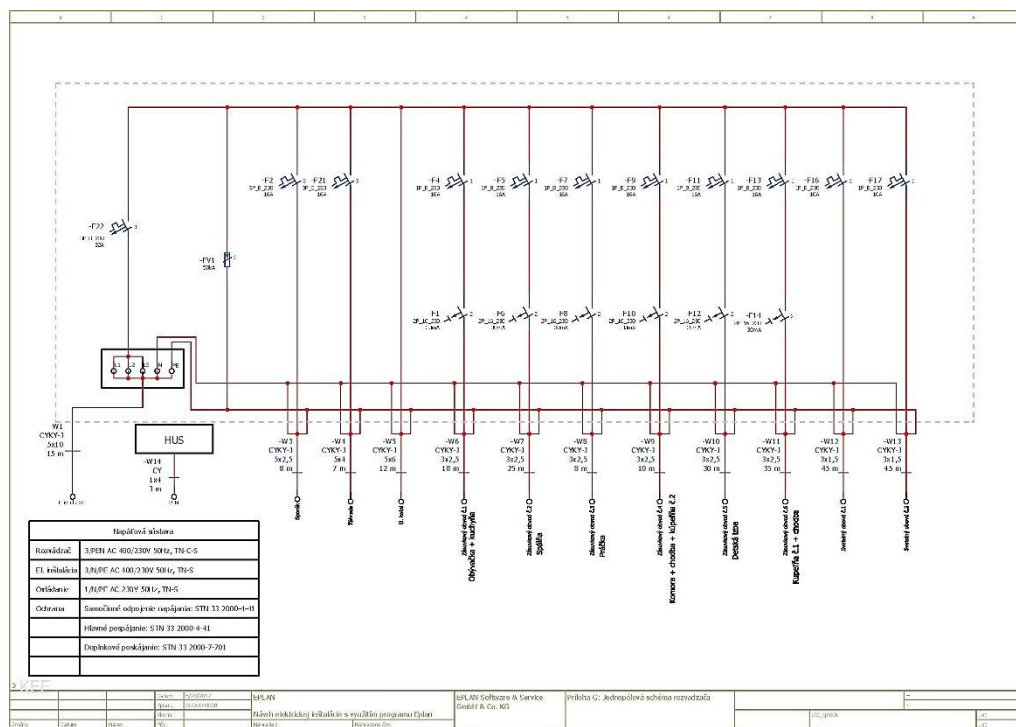
#### IV. NÁVRH ELEKTRICKEJ INŠTALÁCIE V PROGRAME EPLAN

Pre návrh elektrickej inštalácie pomocou programu Eplan, najvhodnejšie bolo zvoliť platformu Eplan Electric P8. Táto platforma poskytuje projektovanie a dokumentáciu na najvyššej úrovni. V komplexnej dokumentácii nájdeme potrebné údaje pre rôzne fázy projektu, podrobné správy či základné schémy zapojení (makrá). Eplan Electric P8 obsahuje vynikajúce makrá, ktoré môžu pri vytváraní projektu výrazne zjednodušiť a urýchliť proces projektovania. Podpora medzinárodných noriem je samozrejmalá. Dostupné sú normy ako IEC, NFPA, ruské GOST či čínske GB. Všetky tieto normy sú dostupné so svojimi databázami a vzorovými projektami (makrami).



Obrázok 1 Situačná schéma zásuvkových obvodov v programe Eplan

Práca v Eplane je úplne odlišná od práce v iných grafických programoch ako je AutoCad, ProgeCad a inéprogramy. Eplan ponúka možnosť generovania rôznych stránok projektu, ktoré sa zobrazujú v navigátore stránok. Cez správu artiklov je možné do projektu vkladať zariadenia z katalógov výrobcov. Výhodou programu je generovanie vyhodnotení, ako je plán svorkovnic, plán káblov, kusovník artiklov a obsah.



Obrázok 2 Jednopolová schéma rozvádzača v programe Eplan

V súčasnosti sa okrem klasických elektrických inštalácií navrhujú aj moderné inteligentné elektrické inštalácie, ktoré majú značné výhody v oblasti úspor energií, množstve rôznych inštalovaných zariadení a komforte ovládania. Program Eplan je vhodný aj pre návrh týchto inteligentných elektrických inštalácií.

## V. ZÁVER

Cieľom tohto článku bolo poukázať na možnosť návrhu elektrickej inštalácie s využitím programu Eplan. Projektovanie elektrickej inštalácie zasahuje do viacerých odvetví. Pre samotný návrh je potrebné poznať príslušné elektrotechnické normy, ale tiež aj zákony a vyhlášky v tejto oblasti. Hlavnou výhodou projektovania v programe Eplan je automatizácia činnosti a vysoká efektívnosť práce. Cez internetový dataportál je možné vkladať do projektu artikly rôznych výrobcov. Zmena niektorého prvku v projekte sa prejaví naraz vo všetkých výkresoch a vyhodnoteniach. Určitou nevýhodou programu je to, že je potrebné dôkladne poznať všetky nastavenia systému a až potom je možné získať jednotlivé výstupy vo forme schém, tabuliek, grafov a textových správ.

## POĎAKOVANIE

Táto práca vznikla vďaka podpore Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied pod číslom VEGA 1/0132/15.

## LITARATÚRA

- [1] M. Herman, Elektrické inštalácie po novom z hľadiska elektrotechnickej požiarnej bezpečnosti. [online]. [cit. 2017-03-14]. Dostupné na internete: [http://www.aos.sk/spe/seminare/archiv\\_1993\\_2008/www/Clanky/04/Herman\\_260204\\_LM.pdf](http://www.aos.sk/spe/seminare/archiv_1993_2008/www/Clanky/04/Herman_260204_LM.pdf)
- [2] D. Medved', Vyhodenie elektrických inštalácií v objektoch budov. [online]. Košice: TU, FEI [cit. 2017-03-17]. Dostupné na internete: <http://people.tuke.sk/dusan.medved/Subory/16.pdf>
- [3] Elektrotechnická spôsobilosť: Vonkajšie vplyvy. [online]. [cit. 2017-03-17]. Dostupné na internete: <http://ets.adlerka.sk/index.php?k=otzc&pk=911>
- [4] M. Kopča, M. Váry, Správne posudzovanie dimenzovania a istenia vodičov a káblov v elektrických inštaláciách. [online]. Bratislava: STU, FEI [cit. 2017-04-01]. Dostupné na internete: [http://www.sez-kes.sk/download/odborne-prispevky/39\\_konferencia/39ko\\_kopca\\_vary-spravneposudzovanie.pdf](http://www.sez-kes.sk/download/odborne-prispevky/39_konferencia/39ko_kopca_vary-spravneposudzovanie.pdf)

# Ochrana pred účinkami blesku pomocou aktívneho bleskozvodu podľa STN 34 1398

<sup>1</sup>Matúš SOTÁK, <sup>2</sup>Stanislav ILENIN

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická  
Univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>matus.sotak@student.tuke.sk, <sup>2</sup>stanislav.ilenin@tuke.sk

**Abstrakt**— Hlavnou témou tohto článku je problematika aktívneho bleskozvodu a ochrana pred bleskom. Cieľom tohto článku je objasniť princíp návrhu aktívneho bleskozvodu a jeho výhody. Článok je rozdelený na časti, kde sa postupne rieši legislatíva, princíp činnosti aktívneho bleskozvodu, zjednodušený návrh aktívneho bleskozvodu, platnosť a nezrovnalosti v norme STN 34 1398.

**Kľúčové slová**— blesk, ochrana pred bleskom, aktívny bleskozvod

## I. ÚVOD

Ochrana pred bleskom je v súčasnosti veľmi aktuálna téma vzhľadom na zvyšujúci sa počet búrok, a tým aj zvyšujúci sa počet úderov bleskov a vzniku nebezpečných udalostí. Nakoľko zdravie a život človeka nie je možné nahradiť, je vhodné uvažovať o ochrane pred bleskom aj za pomoci modernejšej a lepšej technológie, ktorú predstavuje aktívny bleskozvod.

## II. LEGISLATÍVNY RÁMEC

Pri navrhovaní vonkajšej ochrany pred bleskom je potrebné poznať zákony, normy a vyhlášky, ktoré sa zaoberajú danou problematikou.

Základné normy pojednávajúce o ochrane pred bleskom sú :

- STN 34 1398 Ochrana pred účinkami blesku. Aktívne bleskozvody
- STN EN 62305-1 Ochrana pred bleskom. Časť 1: Všeobecné princípy. 2006
- STN EN 62305-2 Ochrana pred bleskom. Časť 2: Manažérstvo rizika. 2006
- STN EN 62305-3 Ochrana pred bleskom. Časť 3: Hmotné škody na stavbách a nebezpečenstvo života. 2006
- STN EN 62305-4 - Ochrana pred bleskom. Časť 4: Elektrické a elektronické systémy v stavbách. 2006

Tieto normy majú uplatnenie v objektoch rôzneho použitia napr. obytné domy, nemocnice, chaty atď.

Požiadavky, ktoré sú kladené na ochranu pred bleskom:

- Bezpečnosť osôb, zvierat a majetku
- Spoľahlivosť
- Hospodárne využitie materiálov
- Estetický vzhľad

## III. TEORETICKÉ POZNATKY

Aktívny bleskozvod je zdrojom vysokonapäťového signálu s presne určenou a riadenou frekvenciou a amplitúdou, čo umožňuje na jeho hrote včasne iniciovať nahor smerujúci výboj. Nie je napájaný z cudzieho zdroja a je schopný samostatnej činnosti. Svoju energiu odvodzuje z okolitého elektrického poľa, ktoré vzniká počas búrkovej činnosti. Úlohou aktívneho

bleskozvodu (bleskozvod s emisiou toku iónov) teda je vytvoriť vhodné podmienky na rýchlu generáciu stúpajúcej vetvy blesku [1].

Podľa technológie výroby poznáme tieto typy aktívnych bleskozvodov:

- S elektronickým spúšťaním – sú tvorené tyčou, na ktorej je upevnený elektronický obvod umožňujúci ionizáciu vzduchu potrebnú na vytvorenie vzostupného výboja.
- Piezoelektrické – získavajú energiu z piezoodporu, pomocou ktorého sa mení mechanické napätie na elektrické. Toto napätie sa privádza na úroveň hrotu nachádzajúceho sa vo vnútri špičky bleskozvodu. Tento pomocný hrot generuje ióny korónou.
- So špeciálnym profilom – systém skladajúci sa z klasického bleskozvodu spojeného so zemou a z izolovaných kovových častí s okolitým elektrickým potenciálom.

Bleskozvod môže byť izolovaný (spojený so systémom potenciálového vyrovnania), alebo bežne používaný neizolovaný (tyčové, mrežové a hrebeňové bleskozvody).

Aktívny bleskozvod má takisto ako klasický bleskozvod časti, ktoré musia byť spolu vodivo prepojené [2]:

- zachytávacie (zberacie) zariadenie,
- zvod,
- uzemnenie (uzemňovač).



Obr. 1 Aktívny zachytávač

#### IV. NÁVRH BLESKOZVODU

Metodické pokyny a teda návrh bleskozvodu nie je v norme zrozumiteľne spracovaný.

V nasledujúcich bodoch je zjednodušene popísaný postup návrhu aktívneho bleskozvodu [3].

Prvým krokom pri návrhu systému ochrany je zoznámenie sa s vlastnosťami objektu. Ako prvé je potrebné zistiť jeho geometrické vlastnosti, teda výška, šírka a dĺžka, poprípade aj typ strechy a vedenia pripojené ku stavbe. Ďalej je potrebné zistiť polohu objektu a ako je daný objekt situovaný. Do úvahy sa berú aj vlastnosti okolitých stavieb ako je ich výška a ich zoskupenie v okolí uvažovanej stavby. V našom prípade išlo o samostatne stojacu budovu so sedlovou strechou a jedným podlažím, obklopenú objektmi rovnakej alebo nižšej výšky.

Ďalším krokom je výpočet počtu nebezpečných udalostí. Tento výpočet je veľmi jednoduchý. Všeobecný predpis tak ako je uvedený v spomínanej norme je:  $NG=0,1 \times TD$ . TD je počet búrkových dní za rok. Tento údaj získame z tzv. irokeraunickej mapy pre dané oblasti alebo sledovaním. Keďže uvažovaná stavba bolo situovaná v Košickom kraji s počtom búrkových dní 25, tak počet nebezpečných udalostí bol 2,5 km<sup>2</sup>/rok. Izokeraunická mapa je prílohou normy STN 34 1398.



Obr. 2 Izokeraunická mapa pre Slovensko

Na predchádzajúcu časť, kde sa počíta počet nebezpečných udalostí nadväzuje často výpočet očakávaného počtu udalostí za rok. V podstate ide o priemerný počet úderov do stavby a vedenia za rok vzhľadom na plochu, kde je možnosť úderu blesku. Predpis pre tento výpočet je znova uvedený v norme.

Pri návrhu bleskozvodu je veľmi dôležitá charakteristika stavby a jej okolia. Pri tejto charakteristike sa berú do úvahy aj vedenia pripojené ku danému objektu. Je to síce prácne, no nie je to zložité vyhľadať všetky hodnoty neznámych premenných v norme, ktoré sú potrebné k výpočtu. Činitele, ktoré sa berú do úvahy sú rôzne. Napríklad ako činiteľ polohy stavby a vedenia, odpor pôdy v ktorej bude uzemnenie, typ podlahy v objekte, riziko požiaru atď. Tieto hodnoty sú potrebné pri výpočte všetkých typov rizík. Veľkou výhodou je aj to, že pri hľadaní hodnoty nejakej neznámej premennej, ktorej hodnotu nepoznáme, sú uvedené v norme niečo ako maximálne hodnoty. Tým pádom sa nemôže stať, že nebudeme poznať hodnotu nejakého potrebného parametra. Samozrejmosťou je, že nie všetky hodnoty musíme určiť hneď na začiatku, ale je to možné aj počas výpočtu pri manažerstve rizika.

Ďalším potrebným bodom pri návrhu ochrany je aj výpočet zbernej plochy. V podstate počítame plochu, do ktorej môže zasiahnuť blesk. V spomínanej norme je uvedené ako zbernú plochu vypočítať pre chránený objekt, vedenie pripojené k tejto stavbe a pre plochu v blízkosti vedenia.

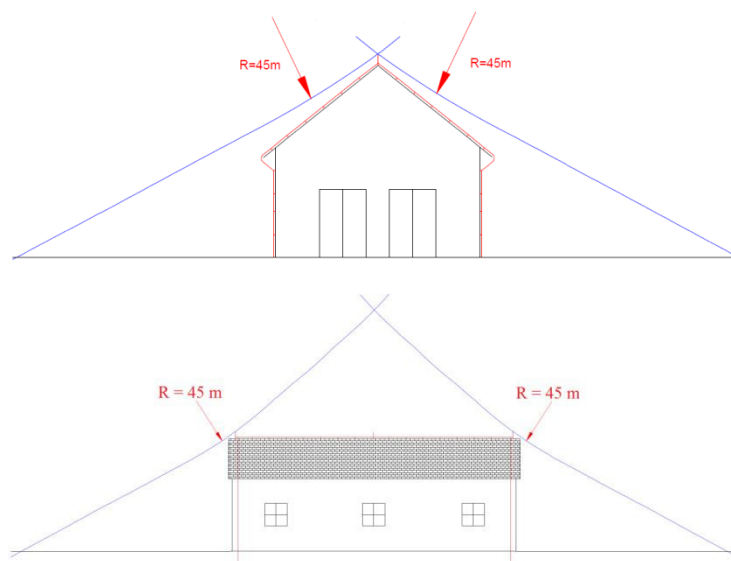
Pri návrhu bleskozvodu vždy na začiatku je potrebné si určiť, s akým typom rizika RX (R1-R4) sa uvažuje a o zostavení jeho súčastí. Napríklad pre rodinné domy ide zvyčajne o riziko R1, teda o riziko straty ľudského života vrátane trvalého poškodenia zdravia. Postup ako zostaviť zložky rizika a aké riziká pri výpočte zahrnúť je znova uvedené v norme.

Po vypočítaní hodnoty rizika R1 je potrebné ho porovnať s hodnotou prípustného rizika RT, ktoré je uvedené v norme a má hodnotu  $RT=10^{-5}$ . Ak je hodnota nami vypočítaného rizika R1 väčšia ako RT, tak je potrebné prijať opatrenia na zníženie tohto rizika. Ak je hodnota R1 menšia ako hodnota RT, tak potom nami uvažované stavba je pre daný typ rizík dostatočne chránená a nevyžaduje inštaláciu ochranných opatrení.

Na zníženie hodnoty rizika sa používa inštalácia bleskozvodu podľa úrovne LPL. Inštaláciu bleskozvodu je vhodné doplniť aj o inštaláciu prepäťových ochrán na vedeniach vstupujúcich do objektu. Po navrhnutí ochranných opatrení je potrebné znova prepočítať hodnoty rizík a porovnať ich s hodnotou prípustného rizika RT. Ak je hodnota menšia, tak systém ochrany je vyhovujúci. Ak nie je hodnota menšia, je potrebné systém ochrany doplniť.

Pri návrhu bleskozvodu vychádzame znova z normy. V tejto norme sú definované materiály a systém vyhotovenia všetkých súčastí bleskozvodu. Samozrejme je možné použiť aj iné materiály, ale musia spĺňať požiadavky normy. Spôsob uloženia uzemnenia a jeho typ vyberá a navrhuje projektant, na základe merania rezistivity pôdy v okolí objektu.

Navrhnutú zachytávaciu sústavu je možné otestovať viacerými spôsobmi. V našom prípade bola overená metódou valivej gule s príslušným polomerom podľa LPL. V tomto prípade bol polomer valivej gule 45 m. Kontrola bola vykonaná grafickou metódou nakresleného objektu a valiacej sa gule cez tento objekt. Projekt domu a valiacej sa gule bol kreslený v programe ProgeCAD.



Obr. 3 Metóda valivej gule

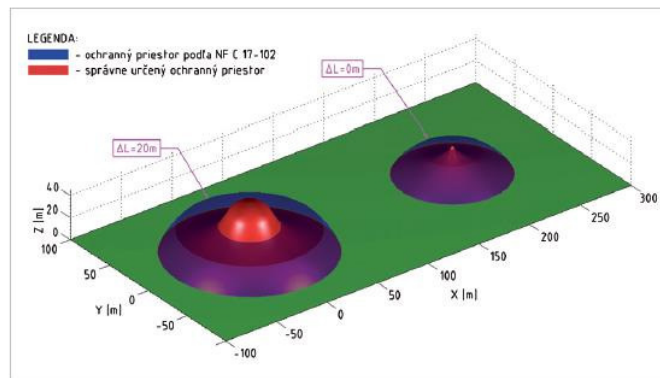
K návrhu aktívneho bleskozvodu patrí samozrejme aj výber a umiestnenie aktívneho zachytávača. Tento návrh robí projektant. V spomínanej norme je popísané kde a ako má byť zachytávač umiestnený pri návrhu. Takisto je definované, aké úkony majú byť vykonané po inštalácii aktívneho bleskozvodu ako napr. OP a OS, potrebné dokumenty atď.

Veľmi dôležitým parametrom pri aktívnom bleskozvode je predstih ionizácie aktívneho zachytávača. Na základe neho sa určuje aj ochranný priestor. Presné metodické pokyny pri výpočte predstihu ionizácie sú uvedené v prílohe C v norme STN 34 1398. Bez ohľadu na výsledky skúšky podľa tejto prílohy je maximálna hodnota predstihu ionizácie 60  $\mu$ s.

## V. DISKUSIA

Norma STN 34 1398 bola medzičasom zrušená, ako je možné sa aj dočítať na webovej stránke Úradu pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky. Hlavným dôvodom bolo, množstvo nezrovnalostí, na ktoré upozorňovali mnohí elektrotechnici špecialisti (§24 revízny technik) a súdni znalci. Podľa tejto normy sa ešte stále vykonávajú OP a OS nakoľko zatiaľ nie je určená náhrada za túto normu.

Jedným z najväčších problémov bolo chybné určenie ochranného priestoru podľa tejto normy. Ten istý problém bol zaznamenaný aj vo francúzskej norme [4].



Obr. 4 Trojrozmerný priestor aktívnych zachytávačov určený správnym spôsobom

## VI. ZÁVER

Skúsenosti s montážou, prevádzkou a revíziami aktívnych bleskozvodov poukazujú jednoznačne na výhodnosť a spoľahlivosť aktívnych bleskozvodov. Aktívne bleskozvody umožňujú šetriť materiály zvodov a uzemňovačov, prispievajú k zlepšeniu ochrany budov a ich okolia, čo klasický (pasívny) bleskozvod nedokáže. Tieto bleskozvody sú pokrokovou náhradou mrežových sústav u budov s plochou alebo sedlovou strechou a sú aj náhradou oddialeného bleskozvodu. Vhodné sú na ochranu objektov rôzneho využitia. Neustále narastajúci počet inštalácií aktívnych bleskozvodov na Slovensku hovorí o ich spoľahlivosti a kvalitatívne vyššej úrovni poskytovanej bezpečnosti ochrany.

## POĎAKOVANIE

Táto práca vznikla vďaka podpore Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied pod číslom VEGA 1/0132/15.

## LITERATÚRA

- [1] STN 34 1398: 2014 (34 1398), *Ochrana pred účinkami blesku. Aktívne bleskozvody*
- [2] STN EN 62305-1: 2012 (34 1390), *Ochrana pred bleskom. Časť 1: Všeobecné princípy.*
- [3] M. Krčmár, LP-AXIS s r.o. – seminár
- [4] G. Krescanko, Je ochranný priestor aktívnych zachytávačov (ESE) určený podľa NF C17-102 skutočne taký rozsiahly? *atp journal* [online], 6/2016, ročník XXII, Dostupné z [http://www.atpjournals.sk/buxus/docs/casopisy\\_cele/ATP%20Journal%206%202016.pdf](http://www.atpjournals.sk/buxus/docs/casopisy_cele/ATP%20Journal%206%202016.pdf), ISSN 1335-2237

# Využitie programu easy soft pre elektroinštalačné aplikácie

<sup>1</sup>Samuel KRAVEC, <sup>2</sup>Stanislav ILENIN

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>1</sup>samuel.kravec@tuke.sk, <sup>2</sup>stanislav.ilenin@tuke.sk

**Abstrakt** — Článok analyzuje využitie programu easy-Soft pre elektroinštalačné aplikácie. Najprv sú opísané rôzne typy riadiacich relé a ich funkcie a následne softvér easy-Soft, ktorý slúži pre programovanie riadiacich relé. Popísané sú aj vstupy a výstupy riadiacich relé, s ktorými môžeme pracovať pri navrhovaní spínacej schémy. Potom je urobený návrh elektroinštalačnej aplikácie pomocou programovateľného relé. Práca obsahuje aj výstup z programu easy-Soft, v ktorom je spínacia schéma pre danú aplikáciu. Na záver sú uvedené výhody riadiacich relé a zhodnotenie práce s riadiacimi relé.

**Kľúčové slova** — programovateľné relé, multifunkčný displej MFD-Titan, easy-Soft, riadiace relé, bezpečnostné relé, komunikačný systém

## I. ÚVOD

Nové technológie v priemysle si vyžadujú aj nové technológie a nároky v oblasti elektrických inštalácií. Používanie programovateľných relé, PLC, a ďalších vyšších riadiacich systémov v závislosti od náročnosti a požiadaviek sa stáva samozrejmosťou už niekoľko rokov. To zo sebou prináša aj kladenie vyšších nárokov na technický personál v oblasti projektovania, konštrukcie, výroby, obsluhy, servisu a údržby.

Elektrické inštalácie v domácnosti a v priemysle sú v súčasnosti ešte vo väčšine prípadov projektované a realizované podľa už neplatných právnych a technických noriem. Hlavným ukazovateľom takejto elektroinštalácie v porovnaní so súčasným trendom je jeho nenáročnosť na projekciu, montáž, obsluhu a údržbu ale slabý, skoro žiadny komfort, zvýšená energetická náročnosť.

V dnešnej dobe sa kladie vyšší dôraz na komfort a úsporu pri realizovaní rôznych riadiacich procesov. Zvyšovanie cien energií nás taktiež privádza k úspornejšiemu riadeniu domácnosti a preto sa v bežných domácnostiach objavujú moderné, inteligentné elektrické prístroje na rôzne riadiace procesy ako napríklad automatické vetranie jednotlivých miestností.

Prístroje od firmy Moeller (Eaton), ktoré sú uvedené v tomto článku spĺňajú zvýšené nároky na komfort, inteligentné prepojenie systémov, komunikáciu, znižovanie energetickej náročnosti.

## II. PROGRAMOVATEĽNÉ RELÉ

Programovateľné logické automaty, ktoré boli schopné reálne spracovávať odchýlky medzi žiadanou a skutočnou hodnotou sa začali objavovať okolo roku 1930. V roku 1959 sa začal vznik skutočnej automatizácie s počítačovým riadením v chemickej spoločnosti Texaco v Port Arthur. Hlavné nevýhody prvých logických automatov boli ich vysoké ceny a veľké nároky na inštalačné priestory. K prelomu došlo až okolo roku 1970 s poklesom ceny a miniaturizáciou. Automaty realizované prostredníctvom relé sa nahradili PLC, ktoré boli riadene elektronicky. Prvé PLC pre svoj stabilný prevádzkový stav vyžadovali prostredie podobné sálovým počítačom, teda klimatizáciu, čisté prostredie, stabilitu dodávky energie a odrušenie od vonkajších vplyvov. Na programovanie bolo nutné mať školené špecialistov, ktorí veľmi dobre poznali jadro PLC. Pre praktické využitie PLC boli tieto podmienky nevýhodne a požadovali sa skôr úplne opačné [1].

V dnešnej dobe sú PLC na vysokej úrovni kedy dokážu riadiť veľké objekty. PLC sú riadene mikroprocesorom s vlastným operačným systémom, ktorý má rýchle odozvy a prispôsobený požiadavkám dnešnej automatizácie.



Komunikácia s okolím je cez vstupy, na ktoré sa privádzajú binárne alebo spojitú analógové signály z riadiaceho procesu. Vstupný signál môže byť vo forme zapnuté/vypnuté (1/0) t.j. koncové snímače napríklad na dopravnom páse v priemysle. Na výstupy sú pripojené akčné prvky riadeného procesu opäť v podobe binárneho riadiaceho signálu zapnuté / vypnuté alebo spojitého výstupného riadiaceho signálu analógovej veličiny [2].

### III. RIADIACE RELÉ EASY A MFD-TITAN

Prví zástupcovia riadiacich relé radu "easy", ktorými sa dajú riešiť jednoduché sekvenčné a kombinačné úlohy sú easy-400 a easy-600. Dnes sa tieto typy riadiacich relé už nepoužívajú, pretože v roku 2004 ich firma Moeller nahradila novými typmi easy-500 a easy-700.

Easy-500 sa používa pre malé aplikácie s maximálne osem vstupmi s štyrmi reléovými alebo štyrmi tranzistorovými výstupmi. Pre zapojenie spínacej schémy poskytuje relé tri kontakty a jednu cievku na jeden prúdový obvod spolu až 128 prúdových obvodov. Dané relé ponúka aj množstvo funkcií ako napríklad impulzné relé, časové relé, týždenné a ročné spínacie hodiny, čítač, analógový komparátor, zobrazovanie a zadávanie hodnôt a mnoho ďalších.

Easy-700 slúži na riešenie stredných riadiacich úloh. Má identické vlastnosti a funkčné možnosti ako riadiace relé easy-500, ale s maximálne 40 vstupmi/výstupmi s možnosťou lokálneho i vzdialeného rozšírenia [3] [4].

Pomocou zariadenia easy-800 je možné vytvárať riešenia pre domáce aplikácie, ako aj pre veľké riadiace úlohy v oblasti konštrukcie strojov a zariadení. Integrovaná sieť easy-NET umožňuje pripojenie až osem riadiacich relé easy-800, ktoré tvoria jeden riadiaci systém. Každé riadiace relé môže obsahovať individuálnu schému zapojenia. To umožňuje návrh decentralizovaných, rýchlych a inteligentných riadiacich systémov [3] [5] [6].

Multifunkčný displej MFD-Titan kombinuje funkcie riadiaceho relé easy-800 s užívateľsky jednoduchšou a prehľadnejšou vizualizáciou. Ponúka možnosť zobrazenia, ovládania, kontroly, regulácie a komunikácie v jednom zariadení. MFD-Titan ponúka optimálne riešenie pre priemysel, automatizáciu budov a obchod, ako aj pre budovanie strojov a systémov [3] [6].

#### Bezpečnostné riadiace relé

Konfigurovateľné bezpečnostné relé easy-Safety ES4P umožňuje realizovať veľké množstvo úloh súvisiacich s bezpečnosťou pre systémové a strojové zariadenia. Zariadenie easy-Safety je bezpečnostný prvok, ktorý monitoruje vysielacie signály, ktoré sa používajú ako súčasť ochranných krytov na strojoch, aby sa zabránilo nebezpečenstvu pre osoby alebo zariadenia. Zariadenie easy-Safety je navrhnuté tak, aby bolo možné ho inštalovať do skrine rozvádzača s minimálnymi požiadavkami na priestor vďaka kompaktnému dizajnu. Napájacie a signálové svorky musia byť chránené proti náhodnému kontaktu a zakryté. Na rozdiel od bežných bezpečnostných relé tieto funkcie nie sú trvalo nastavené, ale môžu byť konfigurované podľa potreby. Pri zmene aplikácie nie je potrebná prestavba rozvádzača, ale stačí iba upraviť riadiaci program pomocou softvéru easy-Soft [3] [7].

#### Bezpečnostné funkčné bloky:

- obvod núdzového zastavenia,
- bezkontaktné bezpečnostné prístroje (ESPE),
- prepínač prevádzkového režimu,
- kontrola spätné väzbového obvodu
- kontrola polohy pohyblivých ochranných zariadení bez blokovania alebo s blokováním,
- prepínač prevádzkového režimu,
- bezpečné obojručné ovládanie,
- kontrola max. rýchlosti atď.,
- dohľad nad bezpečnosťou kotlov.

Bezpečnostné relé sú určené na spoľahlivé sledovanie signálov z bezpečnostných zariadení a rýchle vypnutie v prípade núdze. Bezpečnostné relé ESR5 spoločnosti Eaton poskytujú optimálnu bezpečnosť a vysokú spoľahlivosť strojov. Eaton-ESR5 umožňujú pri aktivácii tlačidla núdzového zastavenia buď priame odpojenie alebo odpojenie s oneskorením napájacieho napätia niekoľkých prúdových obvodov. V závislosti na ich nastavení môžu zistiť chyby, ako sú skraty v obvodoch, zemné spojenia alebo skraty v okruhu núdzového zastavenia. Daný obvod sa ihneď odpojí, alebo sa zablokuje spustenie do doby, kým bude chyba odstránená [8].

Kombinácia riadiaceho relé easy-800 s priamym pripojením na komunikačný systém pre rozvádzače SmartWire-DT poskytuje inovatívne riešenie v návrhu a konštrukcii ovládacieho panela.

Preslávená jednoduchá manipulácia s easy-Relay s efektívnou technológiou pripojenia SmartWire-DT poskytujú pri plánovaní, uvedení do prevádzky a údržbe značné úspory času a nákladov. SmartWire-DT je vysokovýkonný systém, ktorý sa dá použiť na rýchle a ľahké pripojenie rozvádzačov, ako sú stýkače, motorové ističe, riadiace obvody, ako aj digitálne a analógové vstupné/výstupné moduly. Pri montáži komunikačného zariadenia je pripojenie komponentov cez SmartWire-DT rýchle a jednoduché ako vo vnútri, tak aj mimo ovládacej skrinky [9] [10] [11].

#### IV. NORMY PRE RIADIACE A BEZPEČNOSTNÉ RELÉ V ELEKTRICKÝCH INŠTALÁCIÁCH

ISO 13849-1 (Bezpečnosť strojov - Bezpečnostné časti riadiacich systémov - Všeobecné princípy konštrukcie) medzinárodná norma bola evidovaná v roku 2006. Možno použiť aj pre programovateľné systémy (bezpečnostné PLC). Je to náhrada za EN 954-1. Osvedčené kategórie podľa normy EN 954-1 boli zachované, ale vlastnosti súvisiace s bezpečnosťou sa tiež kvantitatívne hodnotia pomocou metód štatistických výpočtov [12].

EN 954-1 (Bezpečnosť strojov - Návrh bezpečnostných riadiacich systémov). Norma sa používa pre všetky bezpečnostné časti riadiaceho systému, nezávisle na druhu použitej energie, napríklad elektrickej, hydraulickéj, pneumatickej alebo mechanickej. Norma nešpecifikuje, ktoré bezpečnostné funkcie, a ktoré kategórie musia byť použité v jednotlivých prípadoch. Norma platí pre všetky strojné zariadenia, a to ako pre profesionálne tak i amatérske použitie. Norma môže byť tiež použitá pri bezpečnostných častiach riadiaceho systému používaných i k iným technickým účelom [13].

Norma IEC 61508 je medzinárodná norma pre elektrické, elektronické a programovateľné elektronické bezpečnostné systémy. Prvá časť normy skúma celý bezpečnostný životný cyklus s podrobnými požiadavkami na postup a obsah jednotlivých krokov. Táto časť má mimoriadny význam pre staviteľov strojov a výrobcov bezpečnostných komponentov. Táto norma je tiež zameraná na návrh elektrických systémov a súvisiacich programov. Výrobcom bezpečnostných komponentov pravdepodobne najviac využívajú tento štandard [14].

Norma IEC 62061 Bezpečnosť strojov Funkčná bezpečnosť elektrických, elektronických a programovateľných elektronických riadiacich systémov. Opisuje zavádzanie systémov elektrického riadenia súvisiacich s bezpečnosťou na strojových zariadeniach a skúma celý životný cyklus od koncepcnej fázy, až po vyradenie z prevádzky [15].

#### V. SOFTVÉR EASY-SOFT

Operačný a programovací softvér easy-Soft (-Pro), založený na softvéri easy-Soft, podporuje programovanie riadiacich relé easy-500/700/800, MFD Titan, ale aj easy-800 s komunikačným systémom SmartWire-DT. Easy-Soft (-Pro) uľahčuje a zrýchľuje programovanie užívateľovi. Grafický editor zobrazuje požadované grafické znázornenie schémy zapojenia. Výberové ponuky a funkcie "drag and drop" zjednodušujú prepájanie úloh [16].

Výhody vyššej verzie easy-Soft:

- Umožňuje vytlačiť schému zapojenia v DIN, ANSI alebo easy formáte.
- Môžeme si vybrať z 13 jazykov.
- V súlade s medzinárodnými normami IEC a s ANSI, americkým štandardom.
- Pomocou jednoduchého schémy zapojenia 1 : 1, ako je znázornené na jednoduchom displeji.

#### VI. NÁVRH ELEKTROINŠTALAČNEJ APLIKÁCIE POMOCOU PROGRAMOVATEĽNÉHO RELÉ

Pomocou programovateľného relé easy-512-AC-RC je potrebné ovládať postrekovač, ktorý zabezpečuje zavlažovanie v rôznych oblastiach, ako je skleník jazdecká hala alebo tenisové kurty.

Systém je možné zapnúť a vypnúť pomocou kľúčového spínača S1. Výberový prepínač S2 sa používa na prepínanie medzi manuálnym a automatickým režimom. Automatické postrekovanie je aktivované štyrikrát denne v konkrétnych časoch (predvolené nastavenie: 00.00-00.05AM 06.00-06.05AM, 12.00-12.05PM a 18.00-18.05PM). Rozprašovací vozík sa pohybuje trikrát dopredu a dozadu ( $A > B / B > A$ ) pri každej zavlažovacej operácii.

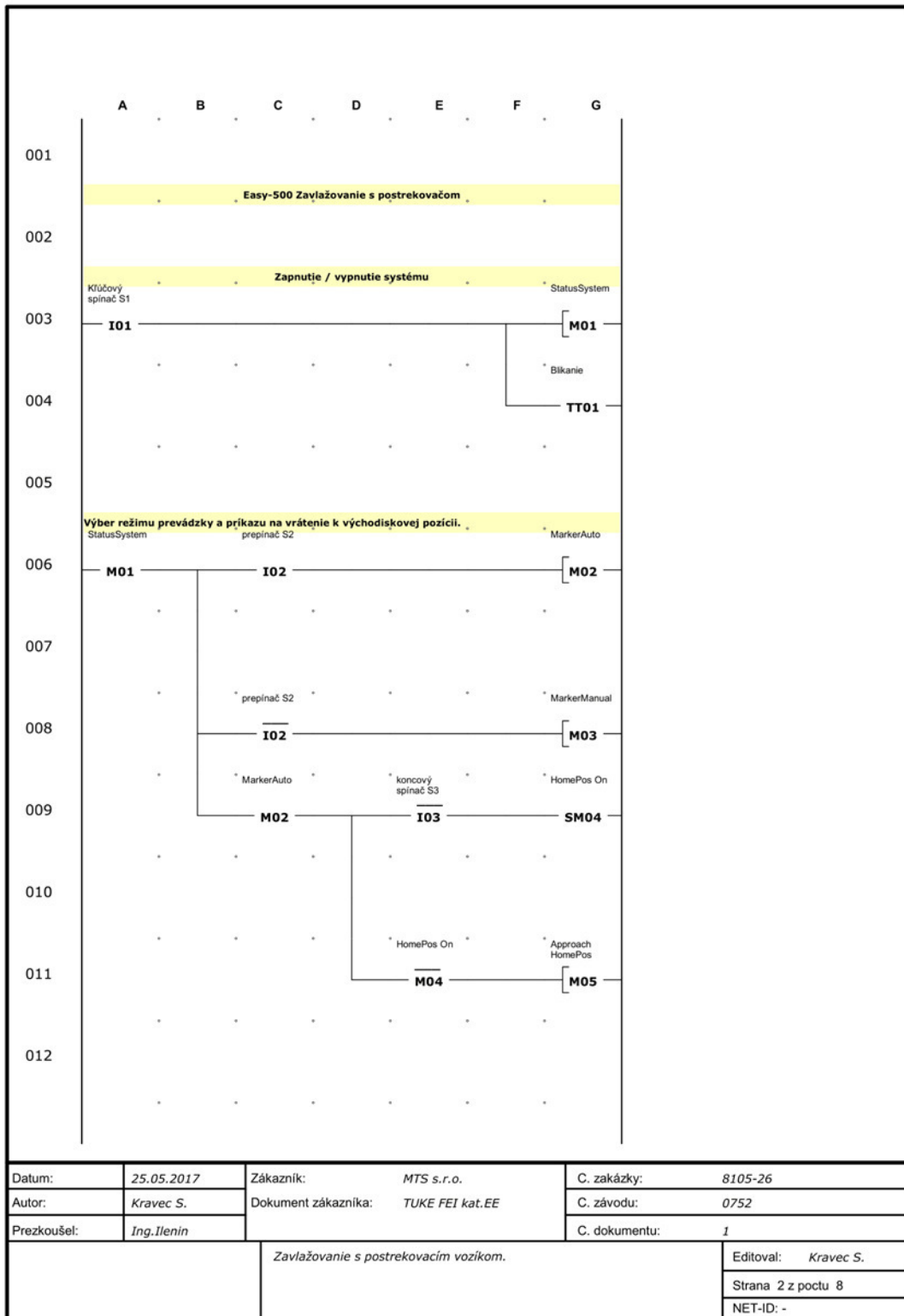
Spínač S5 môže byť použitý na zapnutie a vypnutie zavlažovacieho čerpadla. Ak je zapnutý režim Automatický, najprv systém skontroluje polohu vozíka.

Vozidlo sa presunie na predný koncový spínač (bod A), ak nebola dosiahnutá (počiatočná poloha), avšak bez zapnutia čerpadla na zavlažovanie. Vozík sa potom presúva iba v určených časoch. V ručnom režime (posuvný režim) môžete vozík posunúť dopredu a dozadu pomocou tlačidiel P na "easy" (napr. pri servisných prácach).

Integrovaný koncový spínač zastaví motory postrekovača pri pohybe dopredu a dozadu.

Kontrolka indikuje prevádzkový stav systému:

- H1 Svieti => Automatický režim
- H1 Bliká => Manuálny režim



Obr. 1 Časť riadkovej schémy z programu Easy - Soft

## VII. ZÁVER

V súčasnej dobe vývoj elektrotechniky neustále napreduje. Ľudia chcú čím ďalej tým viac komfortu či už v domácnosti alebo v práci.

Firma Moeller taktiež neustále napreduje a nahrádza riadiace relé novšími radmi riadiacich relé. K najnovším produktom firmy Moeller patrí SmartWire-DT, ktorý posunul zapájanie v rozvádzačoch o niekoľko úrovní vpred. Zapájanie riadiacich relé, všetkých pomocných spínačov a rôznych rozšírení v systéme SmartWire-DT sa uskutočňuje len jedným osem žilovým káblom. Z toho vyplýva, že pracovníci, ktorý majú zapojiť takýto rozvádzač nemusia absolvovať žiadne špeciálne školenia a kurzy.

Prístroje radu "easy" a MFD-Titan sú navzájom kombinovateľne, čo umožňuje riadenie veľkých riadiacich systémov. Vďaka funkciám a komfortu, ktoré riadiace relé obsahujú, majú predpoklad sa stať obľúbeným prvkom v elektroinštaláciách. Prístroje prinášajú aj výhodnú a lacnú náhradu za PLC, ktoré pri svojej prevádzke majú vysoké nároky na kapacitu pamäte a náročne matematické operácie. V praxi sa čoraz viac vyžaduje automatizácia riadiacich obvodov. Využitie riadiacich relé "easy" sa dá využiť takmer všade kde je potrebná automatizácia. Keďže cena riadiacich relé je dostupná aj pre bežného človeka, tak je možné ich využívať aj v domácnostiach pri inteligentných elektrických inštaláciách. Návrh, uvedenej aplikácie môže tiež nájsť uplatnenie aj v domácom prostredí pri zavlažovaní veľkých trávnikov.

## POĎAKOVANIE

Táto práca vznikla vďaka podpore Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej Republiky a Slovenskej akadémie vied pod číslom VEGA 1/0132/15.

## LITERATÚRA

- [1] POSTERUS, portál pre odborné publikovanie. PLC a ich programovanie. [online]. [cit.2017.03.01]. Dostupné na internete: <<http://www.posterus.sk/?p=6903>> ISSN 1338-0087
- [2] PLCOPEN. PLC pre efektívnu automatizáciu. [online]. [cit.2017.03.01]. Dostupné na internete: <<http://www.plcopen.org/>>
- [3] MOELLER. The Clever easyFamily. [online]. [cit.2017.03.01]. Dostupné na internete: <[http://www.moeller.net/binary/w\\_brochures/br05013001Z-en.pdf](http://www.moeller.net/binary/w_brochures/br05013001Z-en.pdf)>
- [4] ATPJOURNAL. Moeller predstavuje nové riadiace relé easy-500/700. [online]. [cit.2017.03.01]. Dostupné na internete: <[http://www.moeller.net/binary/w\\_brochures/br05013001Z-en.pdf](http://www.moeller.net/binary/w_brochures/br05013001Z-en.pdf)>
- [5] MANUÁL MOELLER. Easy-800 control relays. [online]. [cit.2017.03.01]. Dostupné na internete: <<http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/01c5/0900766b801c511f.pdf>>
- [6] EATON. Riadiace relé EASY a MFD-Titan. [online]. [cit.2017.03.01]. Dostupné na internete: <<http://www.eatonelectric.sk/?ID=145>>
- [7] MANUÁL MOELLER. Bluetooth adaptér EASY 800-BLT-ADP. [online]. [cit.2017.03.01]. Dostupné na internete: <[ftp://ftp.moeller.net/DOCUMENTATION/AWB\\_MANUALS/MN04902002Z\\_EN.pdf](ftp://ftp.moeller.net/DOCUMENTATION/AWB_MANUALS/MN04902002Z_EN.pdf)>
- [8] EATON. Eaton's ESR5 safety relays. [online]. [cit.2017.03.01]. Dostupné na internete: <<http://www.eaton.com/SEAsia/ProductsSolutions/Electrical/ProductsServices/AutomationControl/Automation/EasySafetyRelays/ESR5/index.htm>>
- [9] EATON. EasySafety ES4P. [online]. [cit.2017.03.01]. Dostupné na internete: <<http://www.eaton.com/SEAsia/ProductsSolutions/Electrical/ProductsServices/AutomationControl/Automation/EasySafetyRelays/easySafetyES4P/index.htm>>
- [10] EATON. SmartWire-DT. [online]. [cit.2017.03.01]. Dostupné na internete: <<http://www.eatonelectric.sk/?id=129&string=smartwire>>
- [11] PILZ. EN ISO 13849-1: Performance Level (PL). [online]. [cit.2017.03.01]. Dostupné na internete: <<https://www.pilz.com/en-INT/knowhow/law-standards-norms/functional-safety/en-iso-13849-1>>
- [12] TECHNOR. EN 954-1: Bezpečnosť strojov. [online]. [cit.2017.03.01]. Dostupné na internete: <[http://www.technicke-normy-csn.cz/833205-csn-en-954-1\\_4\\_51314.html](http://www.technicke-normy-csn.cz/833205-csn-en-954-1_4_51314.html)>
- [13] PILZ. EN 61508: Functional safety of control systems. [online]. [cit.2017.03.01]. Dostupné na internete: <<https://www.pilz.com/en-GB/knowhow/law-standards-norms/functional-safety/en-iec-61508>>
- [14] PILZ. EN/IEC 62061: Safety Integrity Level (SIL). [online]. [cit.2017.03.01]. Dostupné na internete: <<https://www.pilz.com/en-AU/knowhow/law-standards-norms/functional-safety/en-iec-62061>>
- [15] EASY-SOFT 6 PRO. Pomocník HTML. Dostupné na internete: <<http://www.eaton.com/Eaton/index.htm>>
- [16]

# Aplikácia pre experimentálnu identifikáciu systému v prostredí MATLAB/Simulink

<sup>1</sup>Ladislav NYULÁSZI, <sup>2</sup>Peter BUTKA, <sup>3</sup>Dominika FEDOROVÁ

<sup>1,2,3</sup> Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovensko

<sup>1</sup>ladislav.nyulaszi@tuke.sk, <sup>2</sup>peter.butka@tuke.sk,  
<sup>3</sup>dominika.fedorova.2@student.tuke.sk

**Abstract** — Článok sa zaoberá vytvorením grafického používateľského rozhrania pre experimentálnu identifikáciu systému v programovom prostredí MATLAB/Simulink. Teoreticky charakterizuje samotnú experimentálnu identifikáciu systému, voľbu a klasifikáciu identifikačných metód. Popisuje zvolené metódy experimentálnej identifikácie (deterministické metódy, umelé neurónové siete). V článku je uvedený návrh aplikácie a výsledky testovania na dátach z malého prúdového motora MPM-20.

**Keywords** — experimentálna identifikácia, grafické používateľské rozhranie, MATLAB, Simulink, umelá neurónová sieť

## I. ÚVOD

V minulosti bola všeobecným fyzikálnym, prírodným a chemickým zákonom venovaná veľká pozornosť a z nich boli matematické modely deduktívne odvodzované. Ide o tzv. analytické modelovanie. Postupom času sa čoraz viac presúvala pozornosť na experimentálne metódy. Tieto experimentálne metódy však požadujú existenciu skúmaného objektu a s ním spojenú príležitosť experimentovať. Experimentálne metódy sú však náročné na prístrojovú vybavenosť. Neodmysliteľnou súčasťou pri navrhovaní rôznych komplikovaných zariadení je práve realizácia matematických modelov na počítačoch.

Medzi základne pojmy experimentálnej identifikácie systému patrí pojem reálny objekt a jeho model. Reálny objekt je chápaný ako originál alebo reálne zariadenie, na ktorom je možné vykonávať určité merania, pozorovania, ktorých cieľom je poznanie relácií v ňom prebiehajúcich [1], [2].

Pojem modelovanie predstavuje experimentálny proces, pri ktorom modelovanému systému priradíme fyzický alebo abstraktný model na základe určitých kritérií. Ide o jednu z najstarších metód poznania, ktorá vychádzala z napodobňovania prírodných javov, až k modelovaniu na princípe geometrickej podobnosti. Originálnemu objektu môžeme okrem fyzického modelu priradiť aj abstraktný model (matematický model – MM).

Matematický model síce neumožňuje vykonávať experimenty fyzikálnej podstaty, avšak umožňuje skúmať javy prebiehajúce na origináli pomocou matematického popisu ich priebehov [2], [3].

Článok je zameraný na vytvorenie aplikácie pre experimentálnu identifikáciu systému, ktorá pozostáva z grafického používateľského rozhrania a blokových schém výsledného modelu. Cieľom je urýchliť a zjednodušiť proces vytvárania experimentálnych modelov s možnosťou porovnania jednotlivých metód experimentálnej identifikácie na základe presnosti.

## II. METÓDY EXPERIMENTÁLNEJ IDENTIFIKÁCIE

Experimentálna identifikácia (EI) systémov sa venuje vyšetrovaniu dynamických vlastností systému a stanoveniu jeho matematického modelu experimentálnym postupom. Na základe testovacích signálov pôsobíme na systém, zaznamenávame jeho odozvu a následne z meraných signálov určíme model systému [2].

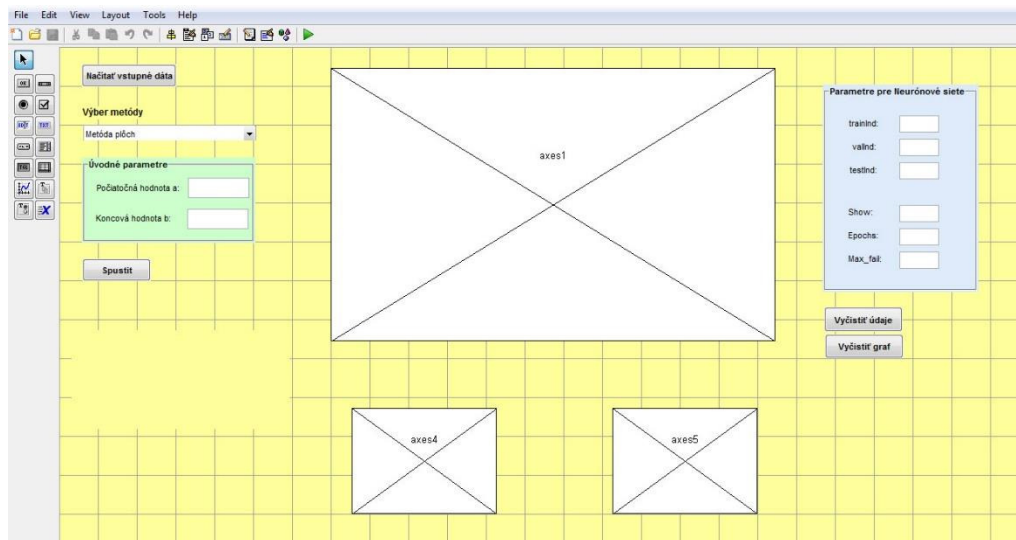
Metódy experimentálnej identifikácie vyžadujú existenciu skúmaného objektu a možnosť experimentovania s ním, avšak nevyžadujú úplnú znalosť štruktúry systému a popis

prebiehajúcich procesov. Za účelom vytvorenia experimentálnych modelov sme vybrali päťicu metód, ktoré predstavujú [3], [4], [5], [6]:

- Deterministické metódy
  - Metóda postupnej integrácie
  - Metóda plôch
- Umelé neurónové siete
  - Time Delay Neural Network
  - Distributed Delay Neural Network
  - NARX Neural Network

### III. NÁVRH APLIKÁCIE PRE EXPERIMENTÁLNU IDENTIFIKÁCIU

Navrhnutá aplikácia pre experimentálnu identifikáciu systému sa skladá z dvoch hlavných častí. Tie predstavujú grafické používateľské rozhranie (GUI) v programovom prostredí MATLAB a vytvorené blokové schémy experimentálnych modelov v prostredí Simulink. Návrh GUI je možné vidieť na Obr. 1.



Obr. 1 Návrh grafického používateľského rozhrania

Aplikácie obsahuje nasledovné funkcionality:

1. **Načítanie vstupných dát** – Používateľ načíta dáta vo formáte .mat a vyberie, ktoré dáta predstavujú vstup a ktoré požadovaný výstup.
2. **Výber metódy experimentálnej identifikácie (EI)** – Možnosť vybrať si z piatich metód. Dve predstavujú deterministické metódy, a to Metóda postupnej integrácie a Metóda plôch. Zvyšné sú 3 typy umelých neurónových sietí (Time Delay Neural Network, Distributed Delay Neural Network, NARX Neural Network).
3. **Úvodné parametre** – Je možné zadať rozmedzie vstupných dát, ktoré budú použité pri vytváraní modelu prostredníctvom metód experimentálnej identifikácie. Vhodné je to najmä pri deterministických metódach, kedy sa modely vypočítavajú zo skokovej zmeny signálu. Pri neurónových sieťach sú hodnoty automaticky nastavené podľa dĺžky vstupných dát.
4. **Parametre pre neurónové siete** – Manuálne zadávanie niektorých parametrov pre tréning neurónových sietí. Jedná sa o pomer rozdelenia vstupných dáta na tréningové (trainInd), validačné (valInd) a testovacie (testInd). Ďalšie parametre, ktoré si používať vie zadať sú Max\_fail (maximálna chyba validácie), Epochs (maximálny počet cyklov tréningovania) a Show (cykly medzi zobrazeniami).
5. **Grafy** – V aplikácii sa nachádzajú 3 okná pre zobrazenie grafov. Dve menšie slúžia na zobrazenie vstupu (axes4), resp. požadovaného výstupu (axes5). Na väčšom grafe (axes1) sa vykresľujú výsledky experimentálnej identifikácie v podobe farebne odlišených nameraných údajov výstupu a tých, ktoré boli dosiahnuté prostredníctvom zvolenej metódy.
6. **Vyčistenie údajov a grafov** – V rámci aplikácie je možné použitím jedného tlačidla vymazať výsledné grafy a pokračovať v tvorbe experimentálnych modelov s načítanými údajmi a nastaveniami. Alebo druhou možnosťou je úplne vyčistiť všetky údaje a načítať nové dáta.

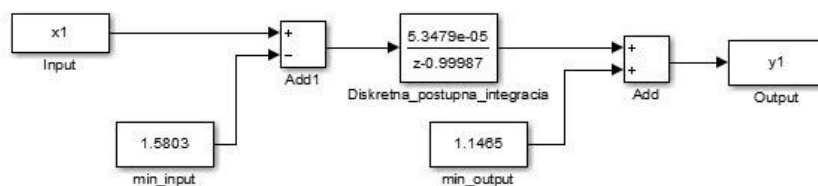
7. **MAPE** – Na určenie presnosti modelov sa na základe rozdielu medzi nameranými údajmi a výstupom modelu vypočítava hodnota strednej absolútnej percentuálnej chyby (MAPE).
8. **Chybové hlásenia** – Aplikácia obsahuje aj chybové hlásenia, ktoré upozornia používateľa v prípade zadania nesprávnych hodnôt.

### Vytváranie blokových schém experimentálnych modelov

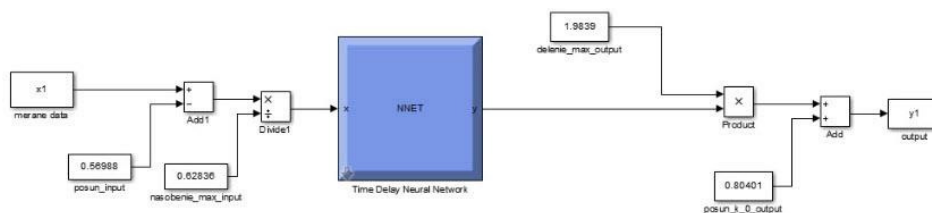
Blokové schémy je možné vytvárať dvojakým spôsobom. Prvým spôsobom je ich vytváranie prostredníctvom knižníc, ktoré sú v prostredí Simulink implementované. Druhý spôsob predstavuje vytváranie blokových schém prostredníctvom príkazov v MATLAB-e. Pre účely nášho riešenia sme si zvolili druhý spôsob, keďže oproti prvému má viacero výhod [7]:

- Používateľ môže vytvoriť radu iných príkazov (výpočty, merania, predspracovanie dát, ...) pred samotným vytvorením systému, a tie môžu byť automaticky zaradené do parametrov v jednotlivých blokoch schémy. Pred finálnym vykreslením modelu môžu byť vykreslené bloky alebo parametre pozmenené na základe vopred stanovených kritérií.
- Pri zmene bloku v schéme stačí v kóde prepísať len jej názov a spustiť vykreslenie modelu.
- S využitím príkazov je kompletne vytvorenie schémy rýchlejšie ako presúvaním blokov z knižnice v prostredí Simulink.

Výsledné blokové schémy sa mierne líšia pre deterministické metódy a neurónové siete. V prípade deterministických metód je model systému zadaný vo forme prenosovej funkcie v diskretnom tvare do bloku *Discrete Transfer Fcn*. Príklad schémy metódy postupnej integrácie je zobrazený na Obr. 2. Pri umelých neurónových sieťach je výpočtový model systému reprezentovaný blokom neurónovej siete vygenerovaný prostredníctvom príkazu *gensim*. Schému pre Time Delay Neural Network je možné vidieť na Obr. 3.



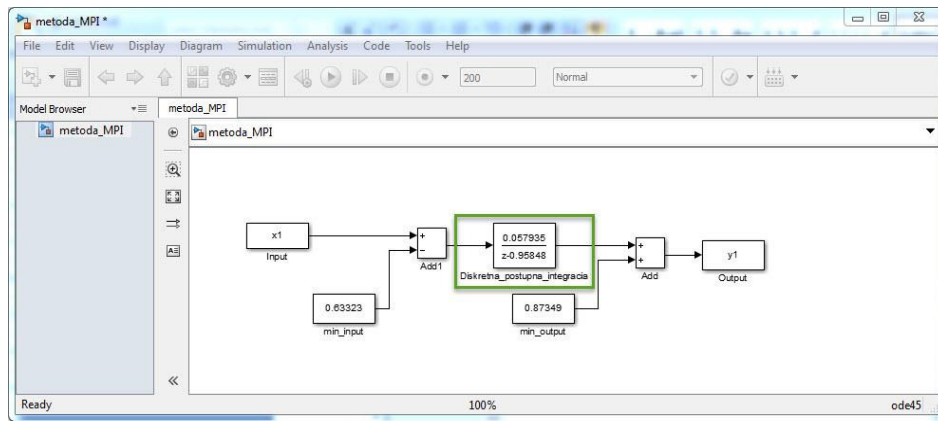
Obr. 2 Bloková schéma metódy postupnej integrácie (MPI)



Obr. 3 Schéma Time Delay Neural Network (TDNN)

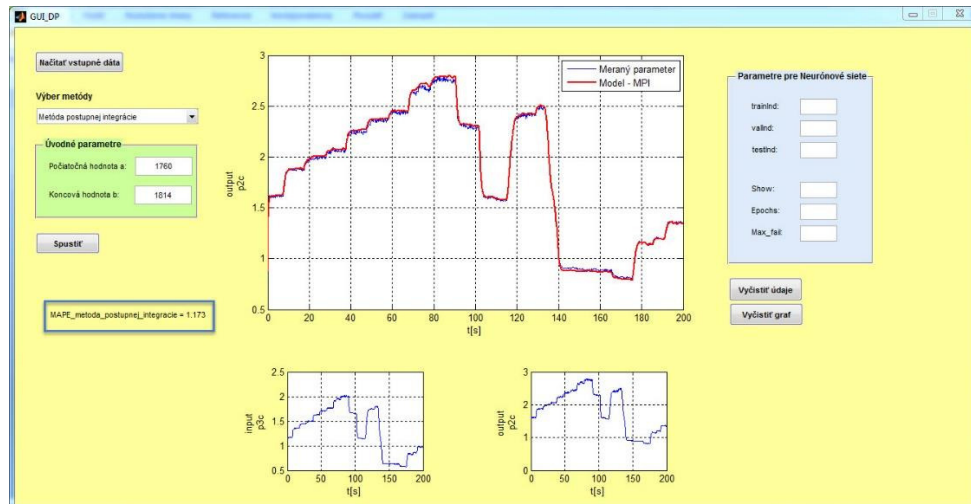
## IV. TESTOVANIE IMPLEMENTOVANEJ APLIKÁCIE

Testovanie aplikácie prebiehalo na dátach z malého prúdového motora MPM-20 [8], [9] umiestneného v Laboratóriu inteligentných riadiacich systémov leteckých motorov (LIRS LM). Dĺžka merania bola 200 sekúnd a všetky dáta sú získané priamo zo snímačov motora. Pri deterministických metódach sme ako vstup do modelu zvolili parameter  $P_{3c}$  (celkový tlak plynu na vstupe do plynovej turbíny) a ako požadovaný výstup parameter  $P_{2c}$  (celkový tlak vzduchu na výstupe z radiálneho kompresora). Po vybraní metódy postupnej integrácie prebehne výpočet na získanie prenosovej funkcie a vygeneruje sa schéma výsledného modelu (Obr. 4).



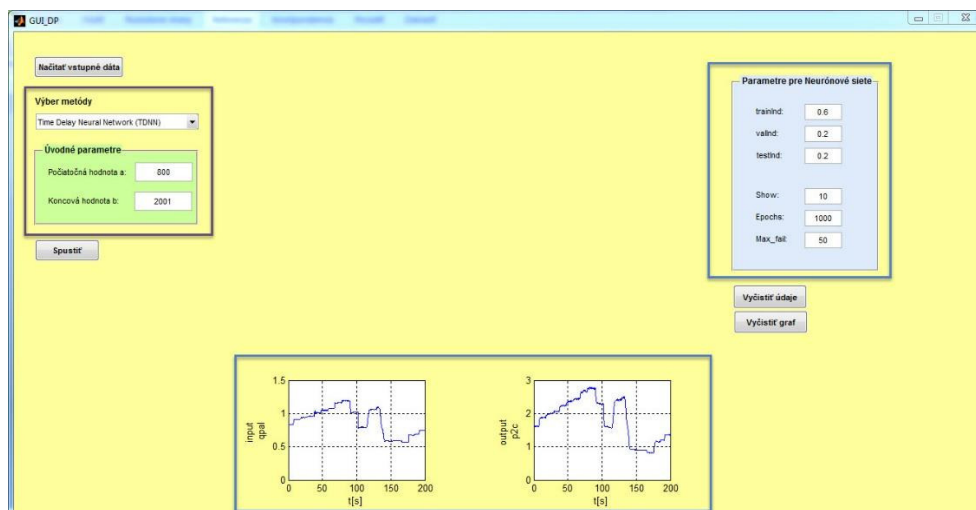
Obr. 4 Schéma modelu vypočítaného metódou postupnej integrácie

Následne sa v grafickom rozhraní vykreslí aj výsledný graf metódy postupnej integrácie (Obr. 5). Tmavomodrou farbou je zobrazený priebeh meraného parametra, ktorý v danom prípade predstavuje nami zvolený výstup  $P_{2C}$ . Červenou farbou je označený výstup z modelu, teda modelované hodnoty daného parametra. Vľavo dole sa zobrazuje hodnota strednej absolútnej percentuálnej chyby (MAPE). Táto hodnota vyjadruje presnosť modelu, teda odchýlku medzi meranou hodnotou parametra a hodnotou získanou modelom. Pri danom teste bola výška chyby rovná 1,173 %.



Obr. 5 Výstup z modelu zobrazený v GUI aplikácie (MPI)

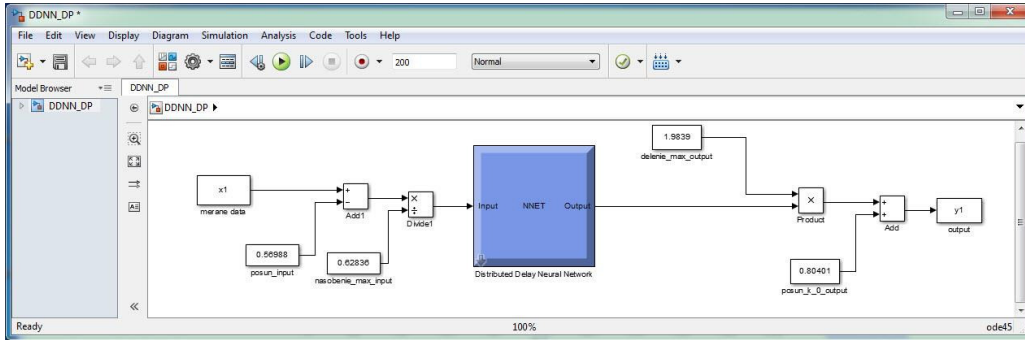
Pri umelých neurónových sieťach bol pri testovaní ako vstup zvolený parameter  $Q_{Pal}$  (hmotnostný prietok paliva cez motor) a ako požadovaný výstup parameter  $P_{2C}$ . V spodnej časti aplikácie sa vykreslia grafy priebehov vybraných parametrov. Zároveň sa automaticky nastaví hodnoty pre úvodné parametre a defaultné hodnoty parametrov pre neurónové siete (Obr. 6).



Obr. 6 Zadané hodnoty parametrov neurónovej siete

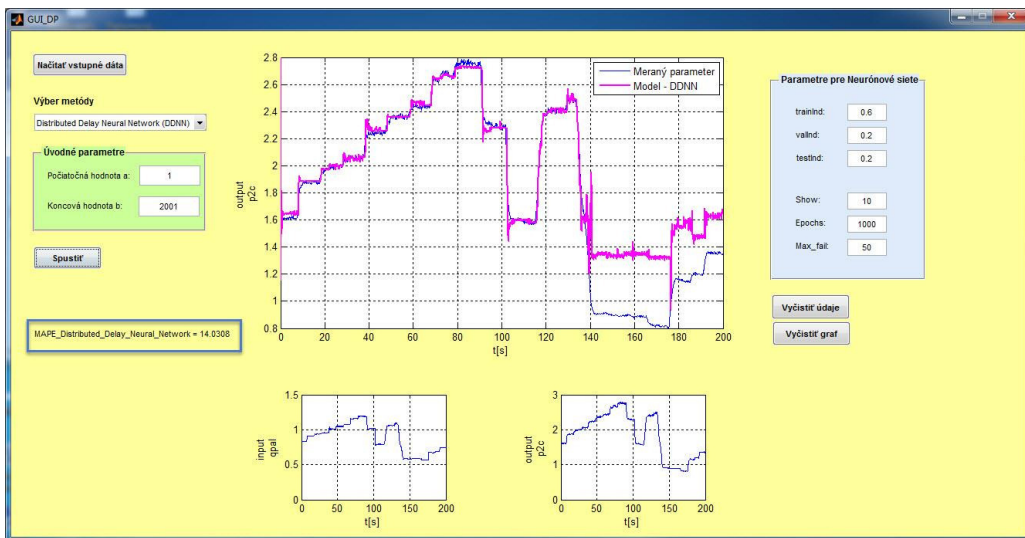


Z metód sme vybrali Distributed Delay Neural Network a po spustení prebehlo tréovanie neurónovej siete a vygeneroval sa výsledný model (Obr. 7).



Obr. 7 Schéma neurónového modelu (DDNN)

Následne sa v grafickom rozhraní vykreslil výsledný graf, ktorý je možné vidieť na Obr. 8. Tmavomodrou farbou je opäť označený priebeh meraného parametra, ktorý predstavuje nami zvolený výstup  $P_{2C}$ . Ružovou farbou je označený výstup z neurónového modelu (DDNN). Hodnota strednej absolútnej percentuálnej chyby bola rovná 14,0308 %.



Obr. 8 Výstup z modelu zobrazený v GUI aplikácie (DDNN)

## V. ZÁVER

Článok sa zaoberal tvorbou aplikácie pre experimentálnu identifikáciu systému. Využitie pri tom bolo programovacie prostredie MATLAB a Simulink. Zvolených bolo päť metód (Metóda postupnej integrácie, Metóda plôch, Time Delay Neural Network, Distributed Delay Neural Network, NARX Neural Network), z ktorých si je možné vybrať pri procese tvorby experimentálnych modelov. Aplikácie bola otestovaná na dátach z malého prúdového motora MPM-20, kde sa potvrdila jej funkčnosť.

Hlavné výhody aplikácie predstavujú prácu v graficky príjemnom a prehľadnom používateľskom rozhraní; možnosť vybrať si z piatich metód experimentálnej identifikácie; automatizáciu procesu tvorby experimentálnych modelov, kde sa automaticky vygeneruje bloková schéma modelu, vypočíta jeho presnosť a vykreslí sa graf výstupu z modelu; urýchlenie a zjednodušenie tvorby modelov bez nutnosti spúšťania viacerých skriptov.

## POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt "Centrum informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy" (kód ITMS:26220120020), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## LITERATÚRA

- [1] M. Fikar, J. Mikeš, "Identifikácia systémov I, II.," STU Bratislava 1999, 2004. [Online]. Dostupné na internete: <<https://www.kirp.chtf.stuba.sk/~fikar/research/ident/ident.pdf>>.
- [2] L. Ljung, "System Identification," New Jersey: PTR Prentice Hall, 1987, 255 pp., ISBN 0-13-881640-9.
- [3] P. Noskovič, "Modelování a identifikace systémů," Ostrava: MONTANEX a.s., 1999. 276 pp., ISBN 80-7225-030-2.
- [4] H. Demuth, M. Beale, M. Hagan, , "Neural Network Toolbox 6, User's Guide," [Online]. Dostupné na internete: <<http://filer.case.edu/pjt9/b378s10/nnet.pdf>>.
- [5] J. Timko, J. Žilková, P. Girovský, "Modelovanie a riadenie elektrických pohonov s využitím neuronových sietí," Košice: C-Press, 2009. 205 pp. ISBN 978-80-8086-124-7.
- [6] J. Kováčik, "Využití umělé inteligence na kapitálových trzích," Brno 2014. [Online]. Dostupné na internete: <[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=84484](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=84484)>.
- [7] D. Fedorová, "Experimentálna identifikácia zložitého systému v prostredí MATLAB/Simulink," Bakalárska práca. Košice: FEI TUKE, 2015.
- [8] R. Andoga, L. Fözö, L. Madarász, T. Karol, "A Digital Diagnostics System for Small Turbojet Engine," Acta Polytechnica Hungarica. Journal of Applied Sciences, vol. 10, no. 4, 2013, 45-48, ISSN 1795-8860.
- [9] L. Nyulász, L. Madarász, R. Andoga, V. Gašpar, "Redundant Backup and Diagnostic System of MPM-20 Engine," in CINTI 2013: 14th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics: Proceedings: November 19-21, 2013, Budapest. - Piscataway: IEEE, 2013, 43-47, ISBN 978-1-4799-0195-1.

# QoS simulation for IP telephony

<sup>1</sup>Júlia ČERVENÁKOVÁ, <sup>2</sup>Miroslav MICHALKO

<sup>1,2</sup> Department of Computers and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>julia.cervenakova@student.tuke.sk, <sup>2</sup>miroslav.michalko@tuke.sk

**Abstract** — The research presented in this paper is dealing with the benefits of Quality of Service (QoS) for IP telephony. These benefits are demonstrated through the series of simulations. The analysis presents the most frequently used approaches for network traffic, especially with aspect to sensitive communication in terms of delays and jitter. Overall, two network topologies were proposed and created in the OPNET Modeler to verify benefits of Quality of Service in different types of overload.

**Keywords** — OPNET, overload, traffic, simulation, QoS

## I. INTRODUCTION

The Internet is the largest network of an Internet Protocol. The Internet in recent years has shown its architecture, which supports a lot of network technologies. The development of Internet and the increase of the transmission capacity of the architecture has not change much. Exponential growth has led to a large number of new requirements and needs. As part of this work [1], new resources have emerged that have begun to provide users with new services. Such new services are the motivation for their constant improvement.

Quality of Service is a problem that is still not solved. But increasing bandwidth can create quality problems, especially in voice. Voice packets do not have the same benefits as data for backlinks in case of packet loss during transmission.

Voice over Internet Protocol using packets of voice generally refers to the provision of telephony services over an Internet Protocol network, while Internet telephony is less important, where voice transmission is made directly over the public Internet. Voice transmission through the Internet Protocol involves digitizing the voice signal, converting it to a packet Internet Protocol format, and transmitting over an Internet Protocol network.

There is also increasing demand for bandwidth increase. The level of service in network traffic is therefore very important. As administrators work with this factor, it affects people using the internet. Not every internet operation [2] is the same. There are a number of factors that affect it and need to be constantly taken into account.

Quality of Service solves the problem of network traffic by providing mechanisms that ensure reliable delivery of data to your destination. It is through the various mechanisms [3] that we can ensure that there is no loss of packets. However, Quality of Service is a costly process. It is important for the end-user, which is a motivation to improve this factor influencing the network. The number of network applications is growing. In particular, services are shifted forward in real time.

The increasing functioning of the Internet suggests that some form of coordination and regulation will be needed to increase its development and use. And that is what the Quality of Service provides as a mechanism that's included in our network topology.

The paper is organized as follows. Section II describes the benefits of QoS for voice what is the basis of this article. Section III describes the OPNET Modeler software program in which all simulations were run. Section IV describes the simulation results of 100% overload in network traffic. It deals with the jitter. Section V describes the simulation results of 150% overload in network traffic deals with jitter too. Section VI describes the simulation results of 100% overload in network traffic. It deals with delay. Section VII describes the simulation results of 150% overload in network traffic deals with delay too. Finally, the conclusions and the final remarks to this Contribution is drawn in Section VIII.

## II. BENEFITS OF QoS

Quality of Service is set of tools that allows me to use different mechanisms to improve network traffic. The network is often activated dynamically only when overloading exists in network traffic when important services are restricted. It is used as a guarantee, that the service will have reserved resources. So it means that real-time application and delay-sensitive receives a bandwidth allocation over which it can then transmit.

Score of QoS is based on protocol events. These are the events:

- packets received by end stations,
- packets sent by end stations,
- packets received by part of the network,
- packets sent by part of the network.

QoS as stated in this article [4] can be implemented to control overloading or to avoid overloading. Various techniques are used to manage overloading. Using them, network traffic is preferred. However, sometimes the network requires more bandwidth. By prioritizing certain classes of operation, overload control techniques allow critical applications or applications sensitive to delay to work properly in a densely populated area. On the contrary, techniques against network collisions use essential technologies to try to avoid overloading.

## III. OPNET MODELER

To simulate IP telephony overloading the OPNET Modeler software is used. It has a powerful set of tools that can test large network environments with software. OPNET provides a number of modules [5]. There are several methods that can be used in this modeling program. Time-based simulations and then testing was utilized.

Network simulation provides a way of network modeling based on device behavior. Discrete event simulation is a typical method for extensive simulations. It allows more accurate modeling and it is more realistically. It creates detailed modeling, accurate packet networking in a row. It can be time consuming because it has a heavy load on performance. But such a simulation provides a precise solution on either a single node or fronts, from a simple algorithm to a complex one.

On the created topology were tested QoS through simulations.

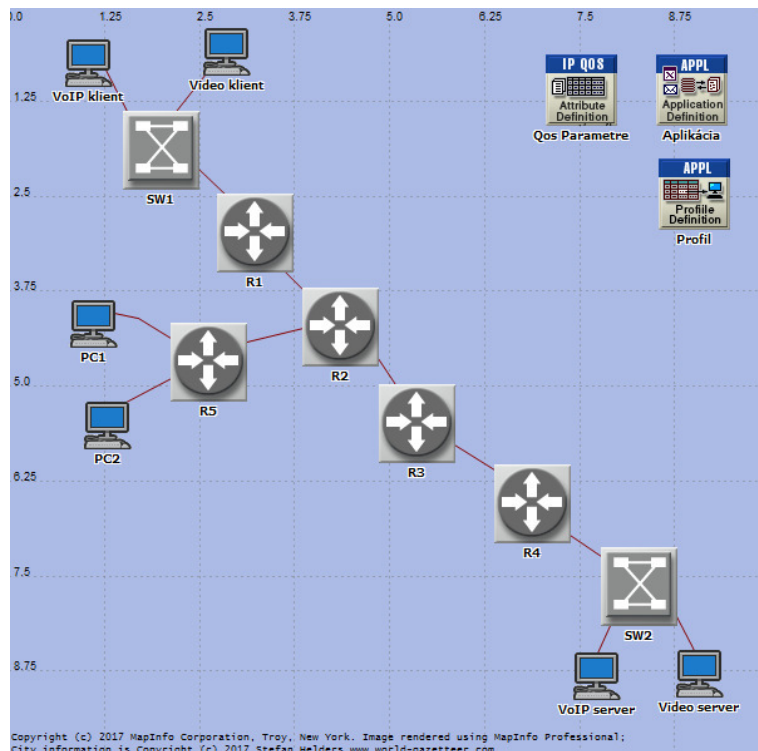


Fig. 1. Design of a tested topology created for simulation purposes.

The topology on which all of the following solutions have been compiled is shown in Fig. 1. Each solution was somewhat specific. It contained various parameter settings and different test conditions.

#### IV. SIMULATIONS QoS AT 100% - JITTER

Simulation that solves voice transmission testing by internet protocol at 100% network overload was considered. We measured the overload between client and server. Voice operation is specific because the server is set as a client. After basic settings, the first scenario was duplicated. The quality of the service could already be included in the second scenario. It also contains the settings needed for a good simulation.

Operation was spread between VoIP clients and VoIP servers. The call volume was set to 1000 calls per hour. The average call duration was 300 calls per second and the voice stream duration 3600 seconds. The codec was G.711. Service Type remained Best Effort. QoS service type was the WFQ schema and DSCP profile. Due to the network operation, we have the following 100% overhead graph:

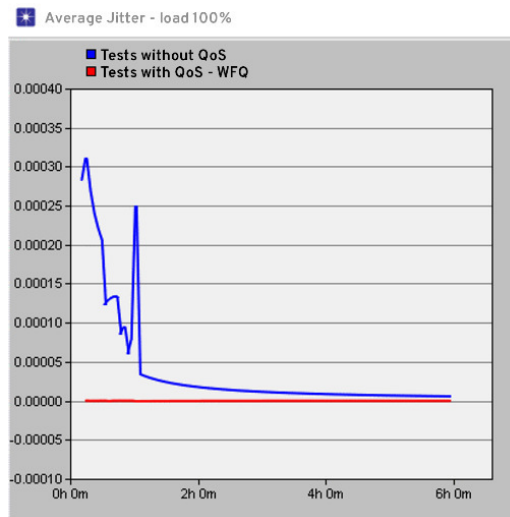


Fig. 2. Simulation result. Jitter in bits per second for VoIP simulation and overload to 100%.

Simulation results for QoS and the improvement of jitter is depicted in Fig. 2. However, QoS has been part of the network traffic from the beginning, not after a certain time. Vertical values show the number of bits and the horizontal time the bits which will pass through. Missing in bits ranged approximately to 0.00030, which is a large deviation for a short time. The red line shows the quality of service traffic. The blue line shows normal traffic during overloading without affecting QoS.

#### V. SIMULATION QoS AT 150% - JITTER

We increased the overload on the network when measuring the same parameter - jitter. In both cases of jitter testing, 6 hours traffic were tested. QoS has also had a great effect on network traffic at higher congestion. Vertical bit values without QoS went up to 0.00040, while QoS moved to zero.

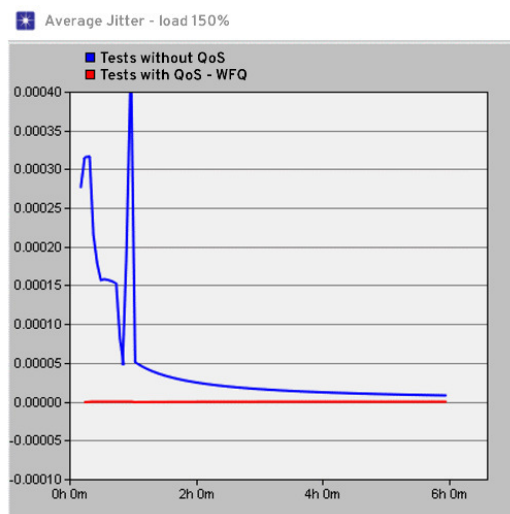


Fig. 3. Simulation result. Jitter in bits per second for VoIP simulation and overload to 150%.

The red line shows the quality of the service traffic. The blue line shows normal traffic during overloading without affecting QoS. In case of overloading, the classical network performance reaches 0.00040 bits per given time. As the QoS progresses around 0 bits.

The average resulting shows comparison where Quality of Service is clearly improving the operation of the network as shown in Fig. 4.

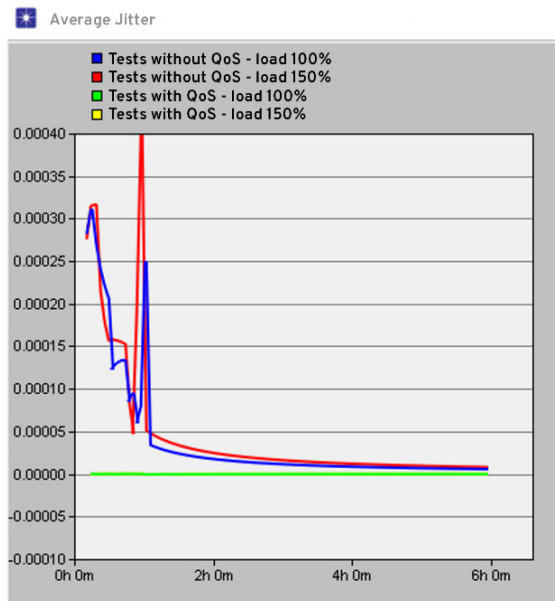


Fig. 4. Simulation result. Jitter in bits per second for VoIP simulation - average comparison.

#### VI. SIMULATION QoS AT 100% - DELAY

Next, we simulated the delay parameter. We tested two levels of network overload. Delay therefore includes the same settings for basic objects in the entire topology. At the same network traffic it was possible to reach delays. Running simulation also measured jitter, but also delay.

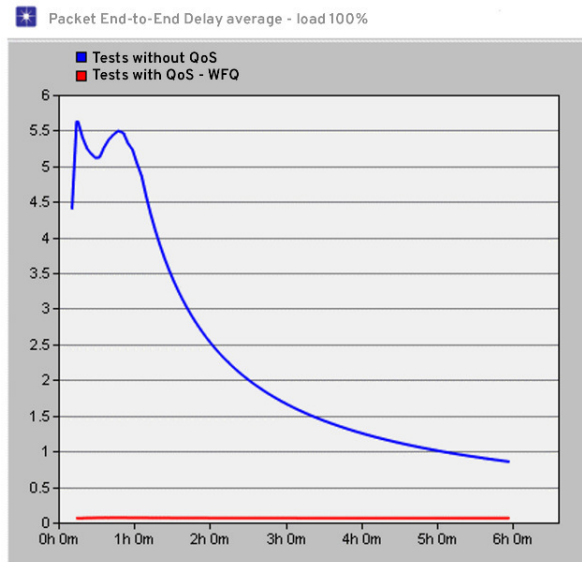


Fig. 5. Simulation result. Jitter in bits per second for VoIP simulation - average comparison.

Fig. 5 shows 100% overloading on the graph nicely seen as QoS affects packet propagation between end devices. The blue line that displays QoS-free values has gone up to 5.5 bits, which means a significant delay at start-up. In contrast, the red line showing QoS traffic has a slight delay.

#### VII. SIMULATION QoS AT 150% - DELAY

Another part was to test the delay at higher congestion. Network, object, simulation, and traffic settings have not changed. Consequently, the value of the overload was 150%. From the following Fig. 6 showing an overload of 150%, one can see even more delay. Consequently, the higher congestion, the greater the delays in operation.

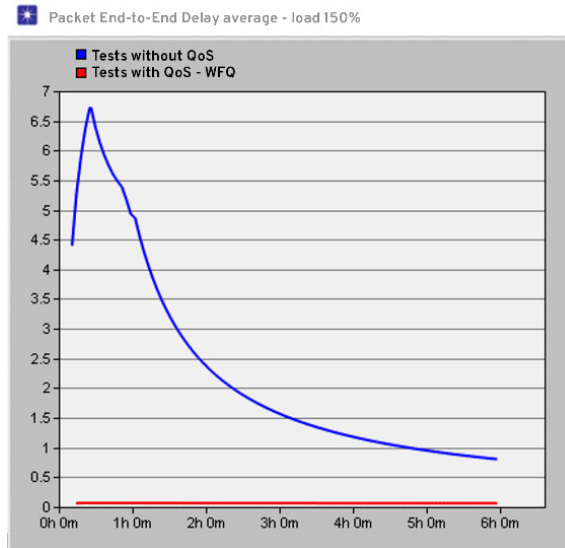


Fig. 6. Simulation result. Packet delay between endpoints in bits per second in VoIP simulation and overload to 150%.

The average delay for 4 types of operation is shown in Fig. 7. It can be seen that QoS has a good impact on the whole operation, which shows the last graph.

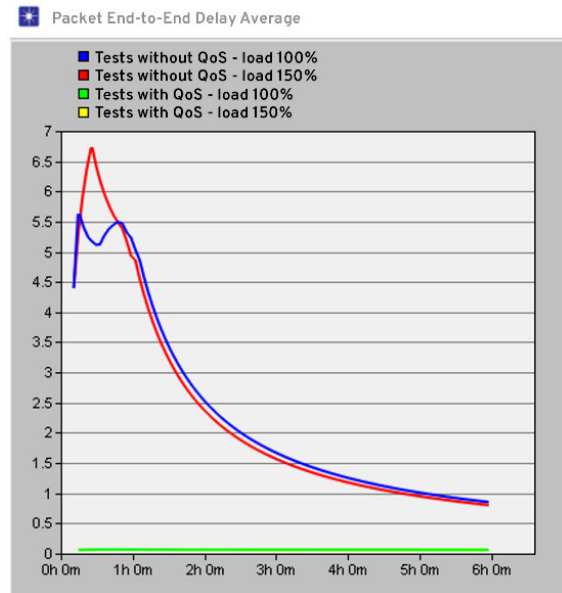


Fig. 7. Simulation result. Packet delay between endpoints in bits per second for VoIP simulation - average comparison

### VIII. CONCLUSION

The paper presented the benefits Quality of Service in the topology networks created in the OPNET Modeler software simulator. The Quality of Service itself has been gradually analyzed. The Quality of Service has been identified.

A topology was created for testing purposes. Gradually, factors influencing the Quality of Service have been addressed, while being set up in a simulator. Several factors have been identified when setting parameters on individual objects. The main thing is to set Applications and Profiles. It is important that they are interconnected so that client-server communication can work. Other objects were specified by type of operation.

Measuring the benefits for the voice solved jitter and delay of 100% and 150%. Differentiated services and weighted queuing were used. Six hours of traffic was tested in both directions between the client and the server. The line between router R1 and router R2 was loaded. The range that increased traffic was 3600 seconds per step. The simulator offered to integrate different types of services. Due to the services used, which were not set for each object in the same way, QoS showed benefit in the monitored parameters. Also, in this case, the best codec offered by the simulator was not used, but it also helped to improve the quality of network traffic.

For jitter overload, 100% non-quality testing has reached values over 0.00030 bits over a given time interval. For parts using quality, values were negligible. However, most of QoS is added to the topology only when there is some loss of quality. It has been found that if it is added at the beginning, it does not even have to be lost. But it can have a higher financial burden. Increasing the overload to 150% also increased jitter values over 0.0040 bits over a given time interval with no topology, while using it, it is similar to lower congestion.

For overdue delays 100%, the delay has increased to 5.5 bits over a given time interval. With a longer service spread, values have begun to be gradually modified. However, QoS reacts well again. Logically even here, at higher overload, there were higher deviations of the traffic values.

#### ACKNOWLEDGMENT

This publication is the result of the Project implementation: University Science Park TECHNICOM for Innovation Applications Supported by Knowledge Technology, Phase II., ITMS: 313011D232, supported by the Research & Innovation Operational Programme funded by the ERDF. We support research activities in Slovakia/This project is being co-financed by the European Union.

#### REFERENCES

- [1] Juan Felipe Botero Vega. "Study, evaluation and contributions to new algorithms for the embedding problem in a network virtualization environment". In: (2013).
- [2] Jason Fitzpatrick. How to Use Quality of Service to Get Faster Internet When You Really Need It. [online].2016[cit. 2016-03-22]. Online on internet: <http://www.howtogeek.com/75660/the-beginners>.
- [3] Sanjay Jha a Mahbub Hassan. Engineering Internet QoS. Artech House, 2002.
- [4] Syngress. "Administering Cisco QoS in IP Networks". In: (2001).
- [5] Zheng Lu a Hongji Yang. Unlocking the power of OPNET modeler. Cambridge University Press, 2012.



# Implementácia protokolu PROPHET v prostredí OPNET

<sup>1</sup>Roman PALITEFKA, <sup>2</sup>Lubomír DOBOŠ, <sup>3</sup>Ján PAPAJ

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

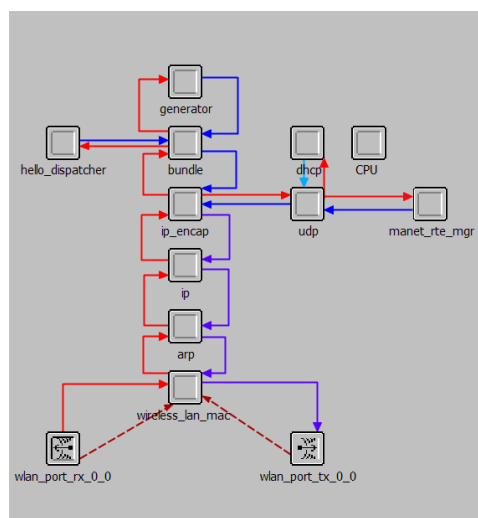
<sup>1</sup>roman.palitefka@student.tuke.sk, <sup>2</sup>lubomir.dobos@tuke.sk, <sup>3</sup>jan.papaj@tuke.sk

**Abstrakt** — Siete tolerujúce oneskorenie DTN (Delay Tolerant Networks) s architektúrou uložiť a prepošli (store and forward) sú schopné pracovať v prostredí so značným oneskorením a prerušovaným spojením. Preverovanie takýchto sietí a protokolov vyžaduje spoľahlivý simulačný nástroj akým je napríklad OPNET (Optimized Network Engineering Tool) modeler. Podstatným nedostatkom OPNET modeleru je chýbajúca implementácia bezdrôtových DTN protokolov a modelov, preto sme vyvinuli rozšírenie OPNET modeleru o bundle protokol a smerovací algoritmus založený na histórii stretnutí PROPHET (Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters). Protokol umožňuje komunikáciu medzi dvoma zariadeniami v sieti s prerušovaným spojením, kde prinajmenšom niekoľko zariadení je mobilných. V článku sa zaoberáme implementačnými detailmi protokolu.

**Kľúčové slová** — Siete tolerujúce oneskorenie, OPNET modeler

## I. ÚVOD

Štandardné bezdrôtové siete používajú koncept komunikácie bod - bod zdedený zo spoľahlivých fixných sietí. Tento koncept však nie je ideálny pre bezdrôtové siete, ktoré pracujú väčšinou rozpojené, tiež označované ako siete tolerujúce oneskorenie DTN (Delay Tolerant Networks) [1]. Aj napriek tomu, že OPNET modeler patrí medzi výkonné simulačné nástroje pre fixné ako aj bezdrôtové siete, neobsahuje žiadnu implementáciu DTN protokolov a modelov. Rozhodli sme sa preto navrhnuť a implementovať bundle protokol prenosu dát a smerovací DTN algoritmus založený na histórii stretnutí PROPHET [2,3,7]. Model zariadenia, akým je mobilné zariadenie, bezdrôtová základňová stanica a podobne je označované v OPNET modeli ako "model uzla". Celkovú architektúru nášho modelu uzla máme znázornenú na obrázku Obr. 1.



Obr. 1. Model uzla

Štruktúra článku je nasledovná: v časti II. sa zaoberáme implementačnými detailmi DTN protokolu PROPHET; v časti III. pokračujeme s popisom simulácie a výsledkami simulácie; článok ukončujeme v časti IV. záverom a zoznamom použitej literatúry.

## II. MODEL PROTOKOLU PROPHET V MODELERI OPNET

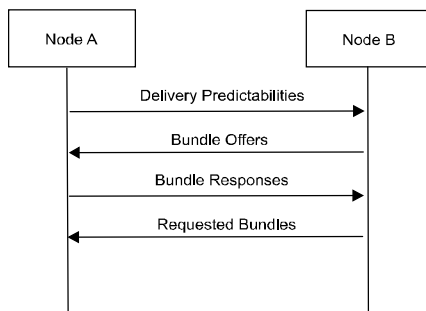
Pri návrhu modelu uzla sme použili za základ existujúci model uzla MANET s názvom *manet\_station\_adv*. Nové kľúčové prvky modelu uzla, ktoré sme implementovali sú moduly *bundle*, *hello\_dispatcher* a *generator*. Očakávame, že naša DTN sieť je zložená z ulov, ktoré pracujú v PROPHET IP zóne [4], preto ostatné časti reprezentujú bloky nižších vrstiev OSI modelu [5].

Aby sme mohli doladiť správanie modelu, implementovali sme konfigurovateľný generátor dát s možnosťou nastaviť začiatok a koniec generovania paketov, distribúciu času medzi generovanými paketmi (inter-arrival time), veľkosť paketov, cieľovú IP adresu. Generátor je možné aktivovať a deaktivovať. Súčasťou bloku generátora je funkcia *receive()* poskytujúca základné štatistické informácie o prijatých dátach z iných uzlov.

### A. Modul HELLO dispatcher

Modul *hello\_dispatcher* má nasledujúce funkcie:

- Detekcia susedov – fungovanie protokolu PROPHET je závislé na schopnosti detegovať susedov a udržiavať informácie o ich stave. Takýto mechanizmus nie je súčasťou protokolu PROPHET, preto tieto funkcie musia poskytovať nižšie vrstvy alebo musí existovať iný mechanizmus na detekciu susedných uzlov. V našom prípade *hello\_dispatcher* vysiela v pravidelných časových intervaloch signál obsahujúci identitu uzla a informáciu o frekvencii vysielať signálu. Tento signál sa označuje aj ako „*hello signál*“. Keď uzol prvý krát prijme tento signál, uloží si identitu uzla do tzv. zoznamu aktívnych susedov, spolu s hodnotou opakovania a aktuálneho času. Ak je už uzol v zozname aktívnych susedov, aktualizuje sa čas a v prípade, že sa zmenila aj hodnota opakovacieho intervalu, aktualizuje ju. V prípade, že uzol neprijme od iného uzla signál do špecifikovaného časového intervalu, je tento považovaný za neaktívny uzol.
- Udržiavanie hodnôt predvídateľnosti doručenia (delivery predictabilities) – Ak existuje komunikačná príležitosť medzi dvoma uzlami PROPHET, tieto začnú fázu výmeny informácií IEP (Information Exchange Phase). V prvej fáze výmeny sú navzájom poskytnuté všetky údaje predvídateľnosti doručenia. Výmena týchto údajov je vykonaná každým uzlom individuálne, s cieľom aktualizovať internú predvídateľnosť doručenia každého uzla, ako je definované v [4].

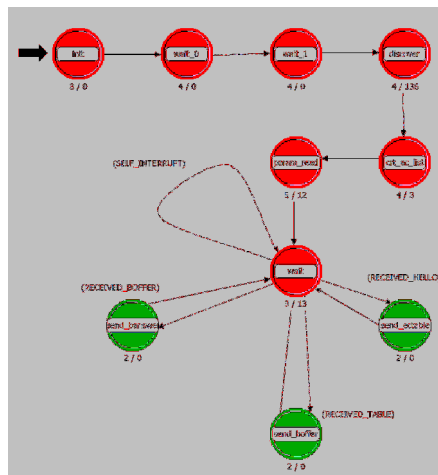


Obr. 2. Výmena informácií medzi uzlami

- Udržiavanie informácií o balíkoch (bundles) – Každý uzol udržiava informácie o uložených balíkoch, jednak o tých, ktoré sám vygeneroval alebo balíkoch, ktoré prechádzajú daným uzlom a sú dočasne uložené v uzle.
- Výber balíkov na prenos – V druhej časti informačnej výmeny si uzly navzájom vymenia informácie o ponúkaných balíkoch na prenos (bundle offers). Na základe týchto informácií, aktuálnej kapacity dočasnej pamäte, stratégie zvolenej pre prenos a aktualizovaných údajov predvídateľnosti doručenia sa uzol rozhodne, ktoré balíky akceptuje a odošle o tom informáciu susednému uzlu (bundle responses). Ten po prijatí tejto informácie začne požadované balíky (requested bundles) vysielať susednému uzlu. Celý tento proces máme vykreslený na obrázku Obr. 2. Je potrebné upozorniť, že obrázok vykresľuje proces prenosu z pohľadu uzla A k uzlu B, úplne rovnaká komunikácia prebieha aj opačným smerom.

Procesný model *hello\_dispatchera* znázorňuje obrázok Obr. 3. OPNET modeler používa simuláciu DES (Discrete Event Simulation) a procesný model rozlišuje stavy a prechody z jedného stavu do iného stavu. Stav s červenou farbou sa označujú v OPNETE červenou farbou a ide o tzv. nevynútené stavy (unforced states), zelenou farbou sú označené vynútené stavy (forced states). Ak sa nachádza simulátor v nevynútenom stave, čaká pokiaľ podmienka bude splnená, až potom prejde do iného stavu. Plné čiary označujú nepodmienené transakcie, zatiaľ čo prerušované čiary označujú podmienené. Podmienky transakcie sú označené veľkými

písmenkami v zátvorkách. Ak je podmienka splnená, nastáva prechod do iného stavu a vykoná sa s prechodom špecifikovaná funkcia. Podmienky korešponujú s prerušeniami. V module *hello\_dispatcher* máme vlastné prerušenia (self-interrupts) asociované s kódom definovaným používateľom, všetky ostatné prerušenia sú spustené príchodom paketov.



Obr. 3. Procesný model pre blok *hello\_dispatcher*

*Hello\_dispatcher* pracuje nasledovne: Po inicializačnom stave, stavom čakania, kde sa čaká na registráciu jednotlivých modulov a identifikácii okolitých modulov je vytvorený prázdny zoznam susedov, načítajú sa vstupné parametre modulu z konfigurácie a je vyvolané prvé prerušenie SELF\_INTERRUPT volaním funkcie *op\_intrpt\_schedule\_self()* so špecifikovaným intervalom opakovania. Vyvolanie prerušenia SELF\_INTERRUPT zavolá funkciu *hello\_dispatcher\_generate\_hello\_packet()*, ktorá vygeneruje inicializačný „hello“ paket a tento odošle do siete všetkým okolitým uzlom. Na konci vykonávania tela funkcie je opäť vyvolané nové prerušenie typu SELF\_INTERRUPT s časovačom a táto sekvencia sa opakuje. *Hello\_dispatcher* takto vysiela v pravidelných intervaloch pakety použité na identifikáciu susedov. Prijatie takéhoto paketu v cieľovom uzle spôsobí fázu výmeny informácií IEP, ako je uvedené na Obr. 2.

Prijaté pakety v bloku *hello\_dispatcher* spôsobia podľa typu vykonanie špecifickej funkcie v jednom z troch možných smerov. Pripravili sme množinu funkcií s týmito účelmi: pridať/aktualizovať susedov, aktualizovať/odoslať hodnoty predvídateľnosti doručenia, ktoré sa ukladajú s ďalšími informáciami v „tabuľke stretnutí“, odoslať ponuku balíkov, rozhodovať, ktoré balíky budú akceptované a informovať „modul bundle“ o balíkoch určených na prenos. Pre modul *hello\_dispatcher* vieme nastaviť niektoré hodnoty parametrov použitých pri výpočte hodnoty predvídateľnosti doručenia, interval vysielať „hello“ paketu a maximálny časový interval pre čakanie na „hello“ paket. Ak nie je takýto paket od aktívneho suseda prijatý v časovom intervale *hello časový interval\*n*, kde *n* je celé nezáporné číslo, uzol považujeme, že už nie je v dosahu. Voľba násobku *n* závisí od charakteru pohybu uzlov.

Niekedy nie je vhodné udržiavať všetky hodnoty predvídateľnosti doručenia, buď ide o veľmi malé hodnoty, veľmi staré hodnoty alebo tabuľka stretnutí má príliš mnoho údajov. Implementovali sme dve funkcie pre redukciu tabuľky. Ak je povolená redukcia tabuľky stretnutí a maximálna veľkosť tabuľky (max) je nastavená, je možné vybrať jeden z dvoch parametrov ako vstup pre redukciu:

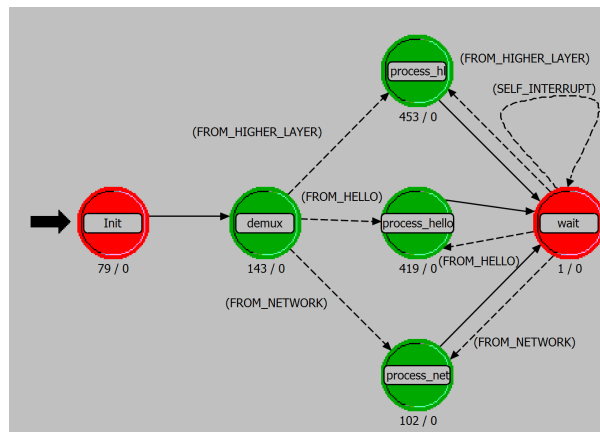
- najnovší – ponechaj nie viac ako definovaný maximálny počet najnovších záznamov,
- najväčší – ponechaj nie viac ako definovaný maximálny počet záznamov s najväčšími hodnotami predvídateľnosti. Ak je nastavený aj parameter pre prahovú hodnotu predvídateľnosti *Pthresh*, všetky záznamy s hodnotami nižšími ako je táto prahová hodnota sú zmazané z tabuľky stretnutí.

### B. Modul Bundle

Kľúčové funkcie modulu *bundle* sú nasledovné:

- Uloženie balíkov do pamäte uzla – každý balík prijatý z vyššej vrstvy je okamžite uložený do dočasnej pamäte, podobne každý balík prijatý z nižších vrstiev, pre ktorý je daný uzol len prepravca (forwarder),
- Informovanie *hello\_dispatchera* o nových balíkoch – Ak sú prijaté balíky z vyšších alebo nižších vrstiev, modul *bundle* informuje o tejto skutočnosti modul *hello\_dispatcher*,

- Distribúcia balíkov – balíky, ktoré sú určené pre aktuálny uzol, sú odoslané vyšším vrstvám, balíky určené pre iné uzly sú v prípade kontaktu s nimi odoslané nižším vrstvám a potom cez fyzickú vrstvu uzlom,
- Udržiavania údajov v pamäti – Veľkosť pamäte je obmedzená, uzol preto musí niektoré balíky zahodiť.



Obr. 4. Procesný model pre modul *bundle*

Modul *bundle* pracuje nasledovne: Po inicializačnom stave nasledujú dva vynútené stavy. Nevynútené stavy, ktoré sme uviedli v predchádzajúcej časti, dovoľujú pozastavenie počas spracovania, vynútené stavy to nedovoľujú. Takto je po inicializácii vykonaný stav *demux* a jeden zo stavov *process\_hl*, *process\_hello* alebo *process\_net* ako jedna transakcia, za ktorým nasleduje stav čakania *wait*. Na konci inicializácie je spustené prerušenie typu *SELF\_INTERRUPT* volaním funkcie *op\_intrpt\_schedule\_self()*, so špecifikovaným časovým intervalom opakovania. Po uplynutí tohto intervalu je vyvolané opäť prerušenie *SELF\_INTERRUPT* a je zavolaná funkcia *check\_bundle()*. Funkcia je zodpovedná za volanie ďalších funkcií pre údržbu dočasnej pamäte a rozšírenie informácií o balíkoch modulu *hello\_dispatcher*. Pre každý stav sme implementovali príslušné obslužné funkcie. V prípade, že bolo vyvolané prerušenie balíkom z vyšších vrstiev, (stav *FROM\_HIGHER\_LAYER* je true), vykonajú sa príslušné funkcie stavu *process\_hl*. Ak bolo prerušenie vyvolané udalosťou z modulu *hello\_dispatcher* (stav *FROM\_HELLO* je true), vykonajú sa príslušné funkcie stavu *process\_hello*. Udalosti z nižších vrstiev (stav *FROM\_NETWORK* je true) spôsobia vykonanie príslušných funkcií stavu *process\_net*, Obr. 4.

Po spracovaní týchto vynútených stavov prejde modul do nevynúteného stavu a čaká na prerušenie vyvolané balíkom alebo prerušenie kategórie *SELF\_INTERRUPT*.

Modul *bundle* dovoľuje konfigurovať veľkosť dočasnej pamäte, interval kontrolovania stavu dočasnej pamäte a spôsob narábania s dátami v pamäti (aktuálne podporujeme len FIFO).

### III. VÝSLEDKY SIMULÁCIÍ

Pre overenie funkčnosti protokolu sme pripravili 5 simulačných scenárov s počtom 20, 40, 60, 80 a 100 uzlov. Parametre použité pri simulácií máme zhrnuté v tabuľke Tab. I.

Aplikačná vrstva bola reprezentovaná generátorom paketov s konštantnou veľkosťou paketov 120bitov a exponenciálnou distribúciou času medzi generovanými paketmi (inter-arrival time) nastavenú na 1s. Cieľová destinácia paketu bola vybraná náhodne. Keďže algoritmus protokolu PROPHET očakáva nejaký čas pre stabilizáciu a výmenu hodnôt predvídateľnosti doručenia, generovanie dátových paketov začalo až po „stabilizačnom čase“ 700s.

#### A. Parametre sledované pri simulácii

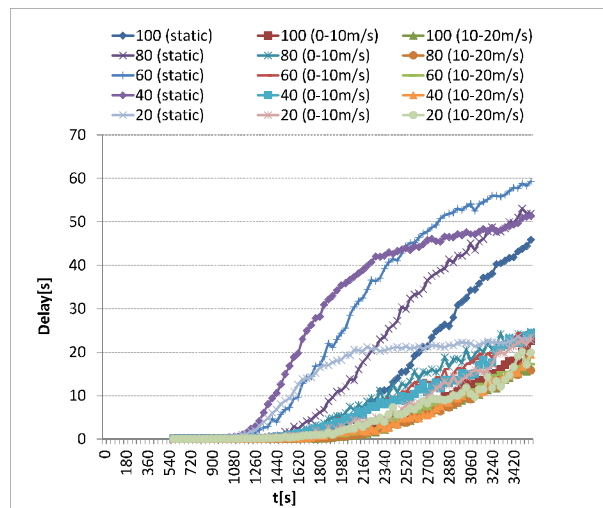
Počas simulácií sme sledovali tieto parametre: oneskorenie balíkov, počet odoslaných a prijatých balíkov.

*Oneskorenie balíkov:* Ide o celkový čas, ktorý uplynie počas prenosu balíka cez sieť od zdroja k cieľu. Meranie oneskorenia začína uložením balíka z aplikačnej vrstvy do dočasnej pamäte uzla a končí doručením balíka z nižších vrstiev do dočasnej pamäte uzla. Ako môžeme vidieť na obrázku Obr. 5., pre statické prípady ako aj prípady s mobilitou uzlov, oneskorenie uzlov narastá s časom. Simulácia potvrdila predpoklad, že vo všetkých prípadoch sú parametre oneskorenia nižšie pre uzly s mobilitou, čo je možné vysvetliť relatívne malou simulačnou plochou, kde sa

uzly stretnú v krátkom čase. V prípade statických uzlov, niektoré z nich nikdy nebudú v blízkosti cieľovej destinácie alebo tranzitného uzla, preto balíky zostávajú celý čas v pamäti uzla.

Tab. I  
 Parametre použité pri simulácii

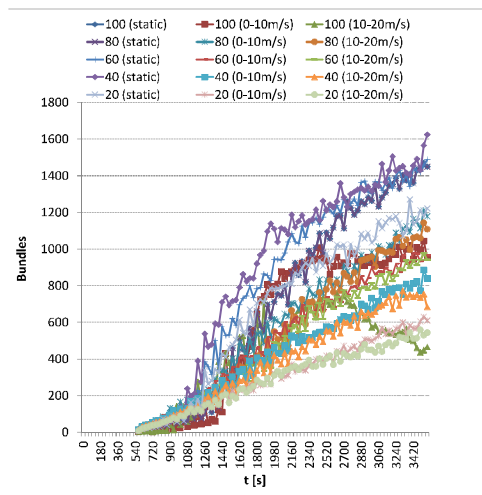
Parameter	Hodnota
Smerovací protokol	PRoPHET
Parametre protokolu	$\beta = 0.9; \gamma = 0.999; \delta = 0.01$
Plocha simulácie	2000 m x 2000 m
Čas simulácie	3600 s
Dosah uzla	250 m
Počet uzlov	20, 40, 60, 100
Rýchlosť uzlov	0 - 10 m/s, 10 - 20 m/s
Umiestnenie v modeli	náhodné
Model mobility	Default Random Waypoint s časom pauzy 100 s
Vyžiarený výkon	1.0 mW
Počet hodnôt na simuláciu	1000
Fyzická vrstva	IEEE 802.11



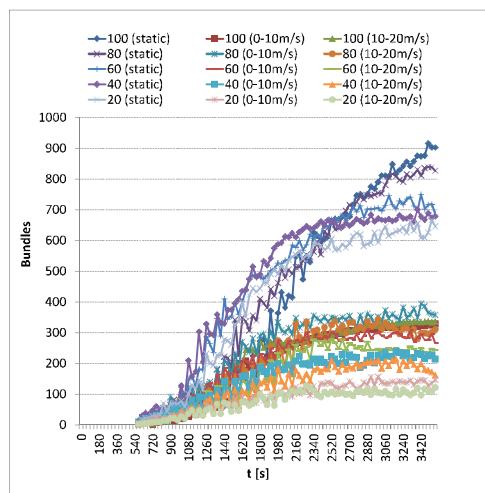
Obr. 5. Oneskorenie balíkov

*Počet odoslaných balíkov:* počet odoslaných balíkov je definovaný ako celkový počet balíkov odoslaných zo zdroja cieľu. Balík sa považuje za odoslaný, ak bol odoslaný z dočasnej pamäte do nižších vrstiev. V tomto prípade môžu byť niektoré balíky odhodené aj nižšími vrstvami samotného vysielačieho uzla alebo sa stratia pri prenose fyzickou bezdrôtovou vrstvou. Vplyv mobility na celkový počet odoslaných balíkov máme znázornený na obrázku Obr. 6. Počet balíkov prenesených vo všetkých statických prípadoch je vyšší ale rozdiel sa znižuje s narastajúcim počtom uzlov. Zvyšujúci sa počet mobilných uzlov na limitovanej simulačnej ploche zvyšuje pravdepodobnosť prenosu dát, na druhej strane narastá pravdepodobnosť kolízie na fyzickej vrstve. Pre prípad s počtom 100 uzlov môžeme vidieť určitú „saturáciu“ počtu balíkov odoslaných do siete.

*Počet prijatých balíkov:* Ako počet prijatých balíkov uvažujeme celkový počet balíkov prijatých cieľovou destináciou, ktoré prešli z nižších vrstiev do dočasnej pamäte uzla. Celkový počet prijatých balíkov nám znázorňuje obrázok Obr. 7. Pre uzly s rýchlosťou 0-10m/s a 10-20m/s sú výsledky porovnateľné. Podstatný rozdiel môžeme vidieť medzi statickými prípadmi a mobilnými prípadmi. Ako bolo uvedené vyššie, počet doručených balíkov klesá s počtom kolízií na fyzickej vrstve a v prípade mobilných uzlov aj kvôli mobilite uzlov. Ak nedôjde k prenosu údajov počas kontaktu uzlov kvôli kolízii, uzly sa vzdialia a prenos sa nedokončí.



Obr. 6. Celkový počet odoslaných balíkov



Obr. 7. Celkový počet prijatých balíkov

#### IV. ZÁVER

V príspevku sme prezentovali implementáciu DTN protokolu PROPHET v OPNET modeli. Na to aby sme overili funkčnosť protokolu, uskutočnili sme simulácie s 20, 40, 60, 80 a 100 statickými a mobilnými uzlami. Z výsledkov vidíme, podstatný vplyv mobility na oneskorenie balíkov a celkový počet odoslaných/prijatých balíkov. Okrem mobility majú na správanie protokolu vplyv aj prostredie a hodnoty parametrov protokolu [6]. Pri simulácii sme použili základné parametre ako boli odporúčané v [4].

V budúcnosti plánujeme implementovať ďalšie stratégie pre spravovanie balíkov v dočasnej pamäti a keďže protokol nemá žiadny bezpečnostný algoritmus, chceme by sme ho v budúcnosti implementovať.

#### ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] P. Hui, J. Crowcroft, E. Yoneki, "BUBBLE Rap: Social-Based Forwarding in Delay-Tolerant Networks", *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, pp. 1576-1589, vol. 10, issue 11, 2011.
- [2] J. Papaj, R. Palitefka, L. Doboš, "DTN modeling in OPNET modeler", *In: Journal of Electrical and Electronics Engineering*, ISSN 2067-2128. - Vol. 7, no. 1, p. 127-130, pp. 1-10, 2014.
- [3] J. Papaj, R. Palitefka, D. Kocur, A. Pietrikova, "PROPHET protocol for DTN in OPNET", *In: Electrical Engineering and Informatics 5: Proceedings of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice*, ISBN 978-80-553-1704-5, p. 798-803, 2014.
- [4] A. Lindgren, A. Doria, E. Davies, S. Grasic, "Probabilistic Routing Protocol for Intermittently Connected Networks", ISSN: 2070-1721, <http://tools.ietf.org/html/rfc6693>, August 2012.
- [5] Z. Lu, H. Yang, "Unlocking the Power of OPNET Modeler", Cambridge University Press 2012, ISBN 978-0-521-19874-5 Hardback, 2012.
- [6] A. Keränen, J. Ott, T. Kärkkäinen, "Simulating Mobility and DTNs with the ONE.", *Journal of Communications* 5.2: 92-105, 2010.
- [7] R. Palitefka, J. Papaj, L. Doboš, "How to simulate DTN in OPNET modeler", *In: Radioelektronika 2016*, Danvers: IEEE, 2016. - ISBN 978-150901674-7., pp. 381-385.

# Simplification of scheduling the state examinations by creating a module for an information system

<sup>1</sup>Vladimír GAŠPAR, <sup>2</sup>Milan URBAN

<sup>1,2</sup>Department of Cybernetics and Artificial Intelligence, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>vladimir.gaspar@tuke.sk, <sup>2</sup>milan.urban@student.tuke.sk

**Abstract** — This paper presents a module of the information system of Department of Cybernetics and Artificial Intelligence (IS KKUI) for organizing and creating a schedule for state examinations. We also provide the information about problems that occurred in the previous state of organizing the state examinations. The main motivation was to shorten the time for preparing the committees and the daily schedule. The module covers monitoring and management of decrees, importing students from the MAIS information system, as well as creating committees according to templates and assigning students according to templates. The module was tested during 2016/2017 master's state examinations. A part of the practical output of this paper was done as a bachelor's thesis.

**Keywords** — MAIS, state examinations, IS KKUI

## I. INTRODUCTION

Bureaucracy is one of the greatest enemies of today's researchers. It diverts their attention to doing unnecessary and unimportant work from the scientific point of view. Therefore, there is a constant need to remove, automate or simplify overhead bureaucratic processes. Apart from everyday peculiarities that include ratings [2], publication reports [3], leaves, business trips [1] there are some specific tasks for specific people that makes several days of their work life a bitter experience. A bright example is creating a class schedule for semester or organizing the state examinations. Some departments at the Faculty of Electrical Engineering and Informatics (FEEaI) have a chosen person (non-researcher and non-teacher), who's responsibility is to organize the state examinations entirely. In other departments (e.g. Department of Cybernetics and Artificial intelligence – later DCAI), it is a duty of a selected researcher. This is the case where the process needs simplification or at least some automation [5].

Our main motivation lies in shortening the time needed to prepare state examinations, as well as to provide a tool for better overview and manipulation with decrees, committees and state examination schedules.

## II. PREVIOUS STATE

In the past, all processes of the state examinations were done manually on a paper and then the final results were written as a word document. There were several problems that occurred during the organization process:

1. **Validity of decrees for possible committee members were hard to find or were late accounted for.** The acceptance of new people is in responsibility of the faculty's scientific committee that usually organizes a session several months before the state examinations. This means that it could occur that renewing old decrees was forgotten or that only few new people were introduced. A second problem that could arise was that a person that was expected to have a valid decree had an expired decree and was accidentally added in a committee.
2. **Getting properly formatted data about students and theses from the IS MAIS system was hard to accomplish.** The MAIS system allows to export data in XLS file format. This required to copy and paste names of students, reviewers, consultants and supervisors, as well as title of the thesis with other information into the final schedule document.
3. **Creating a time schedule for each day was slow because of the need to calculate all**

**examination times including short brakes and the lunch break.**

4. **Matching a specific thesis with a committee required to look through the committee members** and copy paste all student's information into the specific committee container.
5. **Checking whether all formal requirements of the thesis submission process are met was timely** and usually was done upon physical returning of the thesis a day or two before the state examinations.
6. **Fixing errors and making changes to existing schedule, committees or students was manual** and thus timely to accomplish. Each change caused problems with consistency across all other upper mentioned processes.

According to mentioned problems that occurred in the previous state, we expect to shorten the overall scheduling time at least by 50%.

### III. DESIGN AND IMPLEMENTATION

To simplify the deployment process of a state examinations organization application, we have chosen to carry out the implementation as a module of an existing department's information system (IS KKUI), which is currently being tested for rating purposes [5]. The system allows to integrate the new module, because it is developed in ASP.NET Core using the MVC architecture[5]. Our module required to modify existing relational database and add entities regarding decrees, committees, final theses, students, consultants, reviewers, checklists.

The whole module consists of the following three main screens.

#### A. Decrees management

This screen allows to check, add, edit and remove decrees of a specific possible committee member. The decree is valid for entered number of years, which defaults to 5 years. Each decree is issued per committee role (chair or member) and per study field (in DCAI – Intelligent systems and Business Informatics)

#### B. Template management

This screen allows to create different templates for examination scheduling, as well as the composition of the committees. Upon adding a member to a committee, the validation of his/her decree is checked. If the committee member is added in role of a chair, the role of the decree is also validated. Only those people that meet all criteria can be added as a member of the committee.

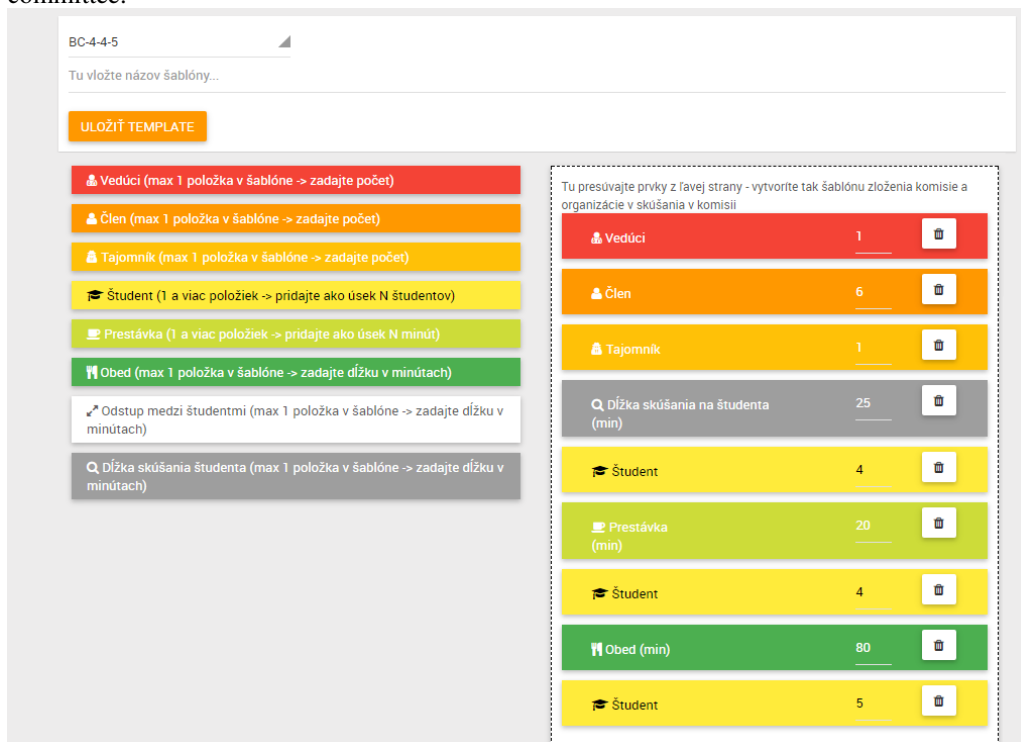


Fig. 1 Template management screen



### C. State examination management

It allows to create state examinations for a specific year. This part shows information about number of students, type of examinations (real term, alternative term) and degree (master's or bachelor's).

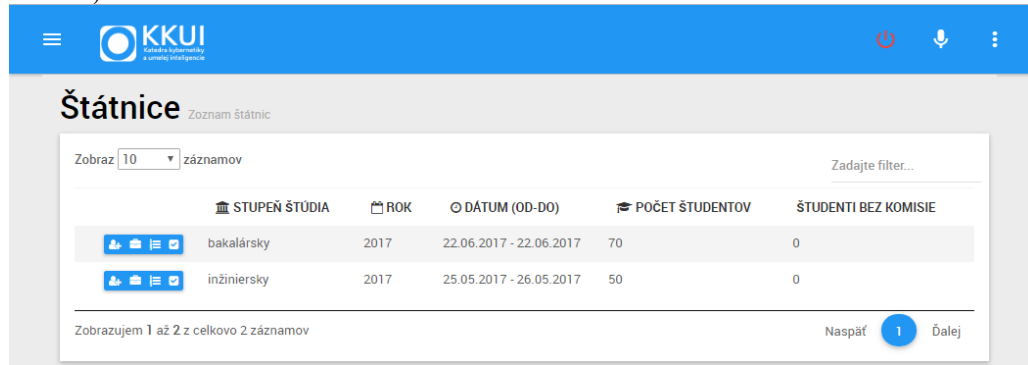


Fig. 2 State examinations management screen

If an examination is added, the user is allowed to open the following screens that are connected with the specific state examination.

#### 1) Committee management

It allows to create, modify and delete committees. Each committee is created for a single day. This allows us to create different committees for each day of the examinations. It also conforms with the format, which should be entered in MAIS (single day format). The user can add committee chairs, members and a secretary. According to the specified template, the composition of the committee can be created automatically if requested. Other sections of the committee management provide information about an existing schedule and allow users to add attachments.

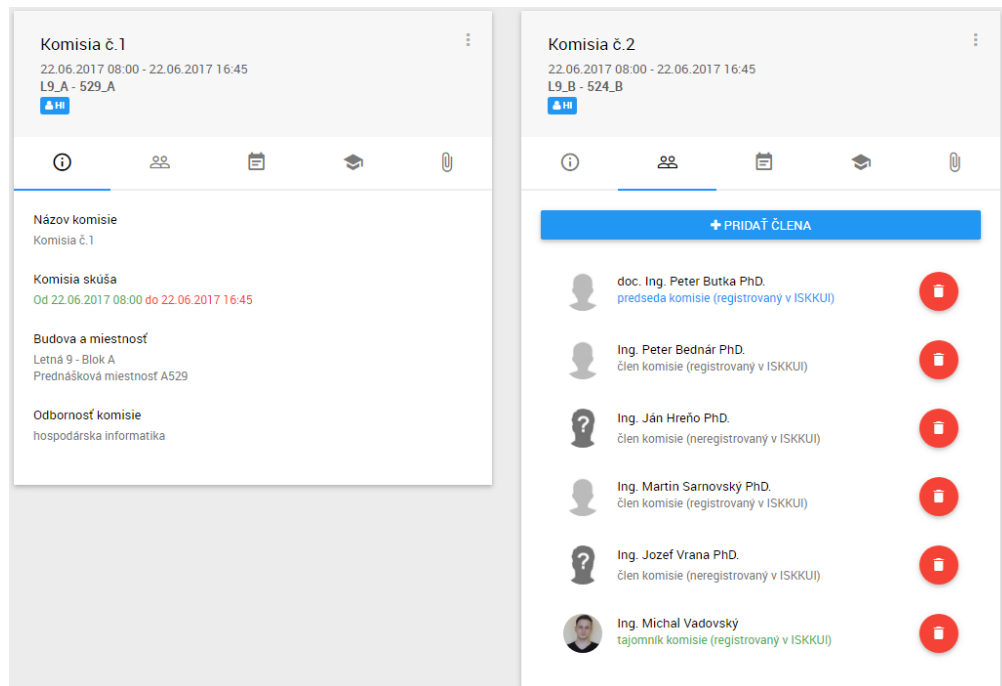


Fig. 3 Committee management screen

#### 2) Student import and management

This section enables importing students from MAIS system using a Google Chrome extension tool for exporting structured data (result of a master's thesis) into a JSON format. The JSON structure can be directly inserted in the import field and is formatted accordingly. After processing the JSON structure, all available users are found and new users are created (if required). People that are not users of the ISKKUI are created as anonymous users with no rights to log in the information system. After importing the students, this screen allows to add distinct students with their theses, edit or remove them from the examinations. Information about the titles of the thesis, students, consultants, reviewers, type of the thesis, supervisor and MAIS id are stored.

### 3) Assignment of students into committees

All imported students are assigned with their study program as well. This information is used to place the student into a specific committee. Each student container can be dragged and dropped on a specific committee for the assignment. The container also contains information about the completeness of the checklist, and all information imported in the student import and management section. Assigned students are automatically scheduled according to a template used for the day and committee. This means that there is no need to manually set times and breaks to schedule the examination day. If the day is full, the user is informed about the situation and can either change the template or extend the duration of state examinations. When the template is switched, all schedules are recalculated accordingly.

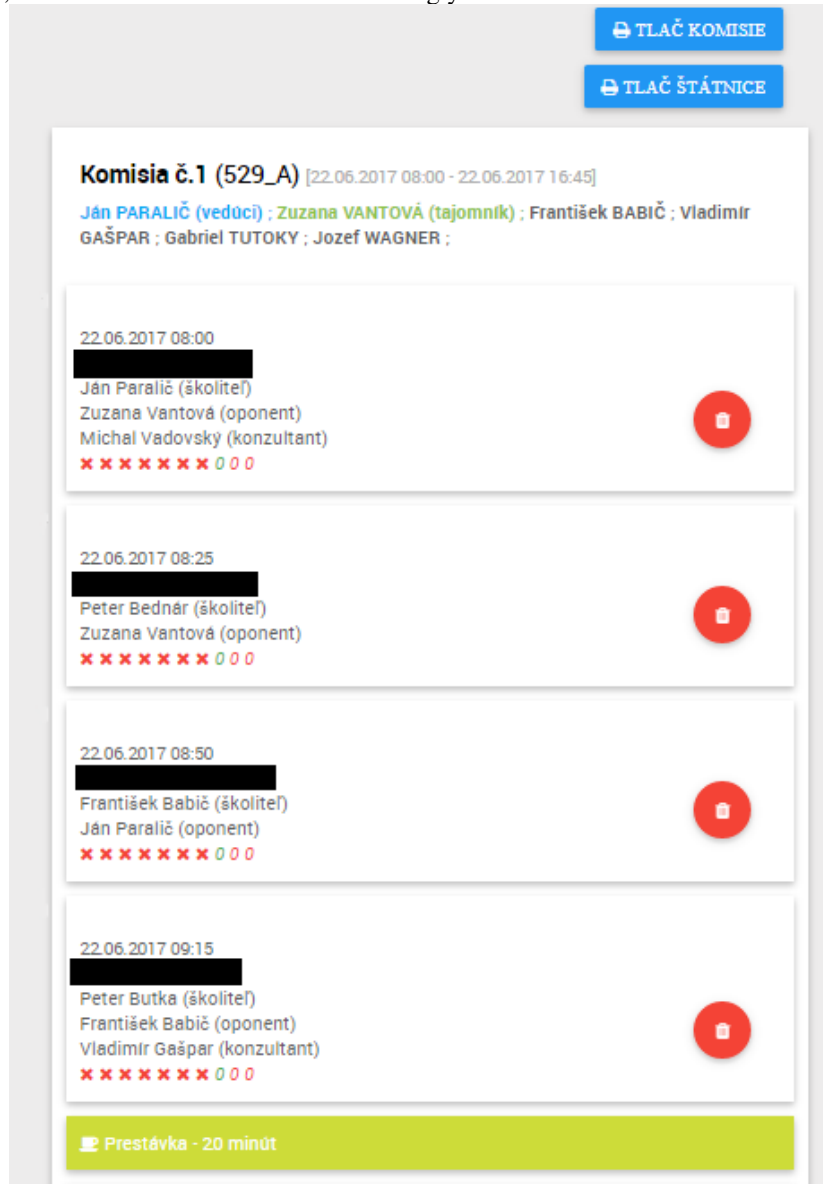


Fig. 4 Committee management screen

### 4) Thesis checklist

This screen provides a possibility to check all necessities of a thesis by selecting a checkbox (true and false). It also enables the user to enter the originality value, and results from the reviewer and supervisor. Checklists are however optional and do not affect the student's assignment into a committee. They have an informative value for the user that some bureaucratic prerequisites were not met

Fig. 5 Thesis checklist screen

The last and one of the most important functionalities is the schedule and committee composition exports. These can be done by a single click (see Fig. 5) and a PDF document is generated from the system. In the future, we expect to create more print outputs so that also other documents necessary for state examinations can be printed directly from the system.

The system has been tested during 2016/2017 master's degree state examinations and has also been currently used for bachelor's examinations. The errors and remarks from the first testing were not entirely implemented but from 84 existing remarks 67 were already taken care of.

The success of the module was evaluated during testing where the scheduling time was shortened to 2-3 hours from 1-3 days, which exceeds our goal stated in chapter II.

#### IV. CONCLUSION

In this paper, we presented results of implementing a module, the purpose of which is simplifying and shortening of the organization process of state examinations. We implemented decrees management, scheduling, committee management and checklist processes, in order to automate most of the scheduling process. The module was tested for organizing state examinations in master's degree in the 2016/2017 academic year. The module proved to significantly decrease the time necessary to schedule and organize the state examinations from several days to matter of 1-3 hours. Currently the module is also being used to schedule the bachelor's state examinations. In the future, we expect to implement recommendations that came out of the pilot testing and fix minor errors that were not hot fixed during the testing period.

#### ACKNOWLEDGMENT

This publication arose thanks to the support of the Operational Programme Research and development for the project "Centre of Information and Communication Technologies for Knowledge Systems" (ITMS code 26220120020), co-financed by the European Regional Development Fund (50%). This publication was also supported by KEGA 005TUKE-4/2017 Introduction of practical education of mobile technologies through the development of applications for smart devices (50%).

#### REFERENCES

- [1] Formuláre na spracovanie prevádzkových požiadaviek OS\_TUKE\_P2\_04. <https://nastavenia.tuke.sk/formulare/>
- [2] Systém hodnotenia zamestnancov a doktorandov FEI TU v Košiciach. <https://hodnotenie.fei.tuke.sk/>
- [3] Systém pre evidenciu publikačnej činnosti TU v Košiciach. <https://epc.lib.tuke.sk/PrehľadPubl.aspx>
- [4] Mailing listy Technickej Univerzity v Košiciach spravované ÚVT. <https://lists.tuke.sk/mailman/listinfo>
- [5] Gašpar, V.: Návrh systému pre podporu vybraných procesov katedry. In: Proceedings of Faculty of Electrical Engineering and Informatics, EEI VII 2016. Pp. 453-458 ISBN 978-80-553-2599-6.

# Simulácia robotického pracoviska v programe ABB RobotStudio

<sup>1</sup>Peter GIROVSKÝ, <sup>2</sup>Patrik OKLAMČÁK

<sup>1,2</sup> Katedra elektrotechniky a mechatroniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach

<sup>1</sup>peter.girovsky@tuke.sk, <sup>2</sup>patrik.oklamcak@student.tuke.sk

**Abstrakt** — V tomto príspevku chceme predstaviť simuláciu robotického pracoviska v programe ABB RobotStudio. Tento nástroj predstavuje platformu, na ktorej je možné nie len simulovať robotické pracovisko, ale výsledný kód využiť pre riadenie reálneho robota. V práci bol pre simuláciu použitý základný balík ABB RobotStudio a v tomto balíku bol robený návrh lakovacieho pracoviska.

**Kľúčové slová** — priemyselný robot, riadenie, simulácia, RobotStudio

## I. ÚVOD

Téma robotizácie a využívania priemyselných robotov je v dnešnej dobe veľmi rozšírená. Priemyselné roboty nachádzajú široké uplatnenie pri čoraz rôznorodejších aplikáciách. Ich čoraz častejšie vyžívanie je dôsledkom snahy zvýšiť produktivitu výrobného procesu, zníženie nákladov a zvýšenie presnosti výroby. Je náročné plniť požiadavky trhu, preto je vývoj a používanie robotizovaných zariadení nevyhnutnosť. Robotika je vo všeobecnosti veda zaoberajúca sa návrhom, výrobou a aplikáciou robotov. Pod samotným pojmom robot rozumieme automat alebo počítačom riadený systém, ktorý je schopný autonómnej – cieľovo orientovanej interakcie v prostredí podľa inštrukcií človeka, pričom interakcia spočíva v sledovaní prostredia, jeho rozpoznávaní a manipulácii s predmetmi alebo pohybe v danom prostredí. Vo všeobecnosti môžeme roboty rozdeliť do troch základných kategórií:

- Manipulátory – predstavujú najjednoduchšie typy robotov, najčastejšie dvojpolohových, ktoré sú určené pre automatickú manipuláciu s predmetmi
- Priemyselné roboty – sú to univerzálne viacosé manipulátory schopné vykonávať zložitejšie pohyby naprogramovanej manipulačnej úlohy
- Ostatné roboty – Ostatné robotické systémy, napr. humanoidné roboty, prípadne iné experimentálne roboty

Najčastejšie využívaným typom robotov sú priemyselné roboty, ktorého simuláciu predstavíme aj v tomto článku. Principiálne sa každý robotický systém skladá z troch základných častí:

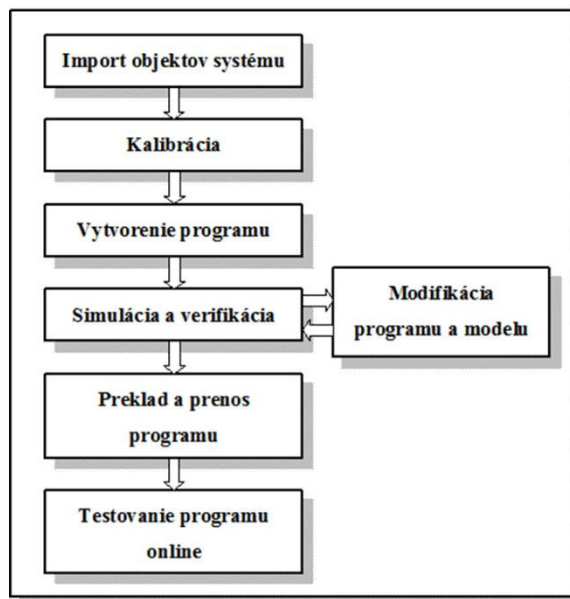
- zo samotného robota, ktorý obsahuje mechanické, elektrické a snímacie prvky,
- z riadiaceho systému,
- a ovládacej jednoty robota.

V praxi sa využívajú tri základné spôsoby programovania robotických systémov. Prvým spôsobom je tzv. Play-back programovanie, ktorého princíp spočíva vo fyzickom navádzaní ramena robota operátorom a dané pohyby sú zaznamenávané do pamäte. On-line metóda je uskutočnená operátorom pomocou programovacieho panelu riadiaceho systému a pri tejto metóde je robot navádzaný na určené pozície, ktoré si zaznamenáva do pamäte systému. Posledným spôsobom je Off-line programovanie, ktoré spočíva vo vytvorení modelu pomocou 3D simulačného programu. Tieto simulačné programy obsahujú možnosti tvorby kinematických a dynamických modelov robotov pre vytvorenie presnej simulácie celého pracoviska a samozrejme naprogramovanie požadovaného procesu. [1, 2]

## II. NÁVRH SIMULÁCIE LAKOVACIEHO ROBOTA

Na vytvorenie simulácie lakovacieho robota sme použili softvér ABB RobotStudio. Tento nástroj pracuje s virtuálnym riadiacim systémom, ktorý je identický s reálnym systémom IRC5

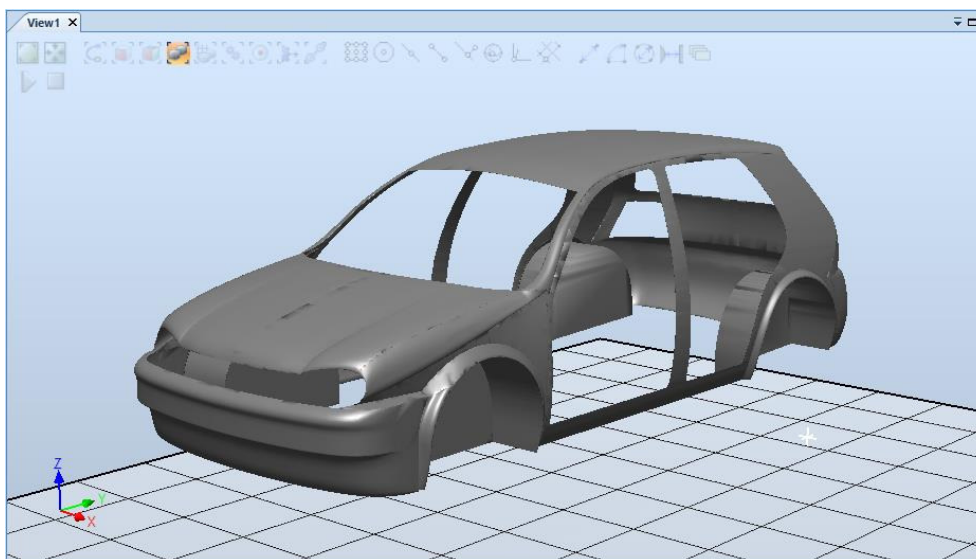
používaným pre riadenie robotov firmy ABB. Vytvorenie 3D simulácie lakovacieho procesu a jej naprogramovanie bolo riešené tzv. Off-line metódou programovania, pričom procedúry vytvárania simulácie rozdeliť do niekoľkých krokov, ktoré sú zobrazené na obr.1.



Obr. 1 Schematické znázornenie procedúr pri Off-line programovaní.

#### A. Vytvorenie 3D modelov pre simuláciu

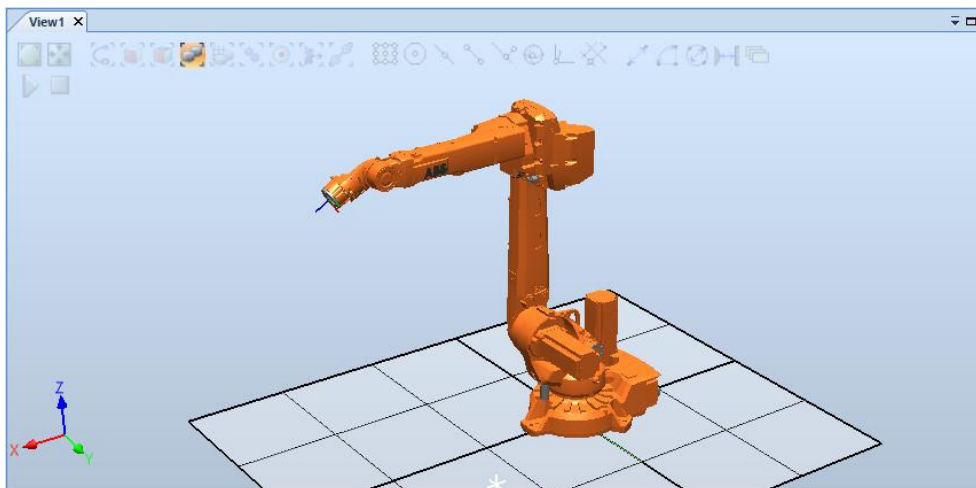
V prvom kroku bolo potrebné vytvoriť 3D model karosérie automobilu, pre potreby nastavenia pracovného priestoru robota. 3D model bol vytvorený pomocou softvéru Blender a je zobrazený na obr. 2. Model karosérie automobilu nemohol byť vytvorený pomocou základných funkcií softvéru RobotStudio, pretože ten umožňuje vytváranie len jednoduchých 3D modelov ako napr. model dopravníka, ktorý bol v ňom vytvorený pomocou funkcie *Create Mechanism*. Dĺžka modelu dopravníka bola zvolená 20 metrov, vzhľadom na veľkosť modelu karosérie automobilu a spôsobu simulácie, kedy sa po dopravníku môžu pohybovať dve karosérie za sebou.



Obr. 2 3D model karosérie automobilu.

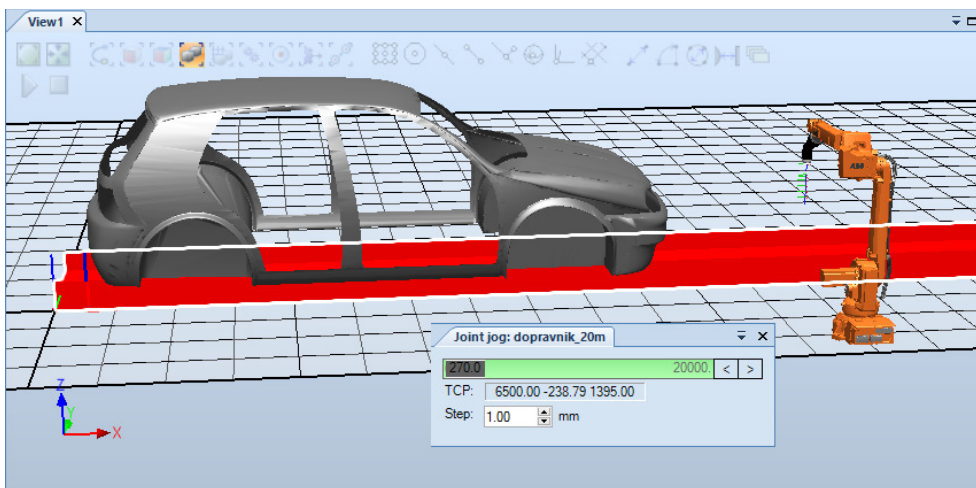
#### B. Vytvorenie pracovnej stanice

Pre vytvorenie pracovnej stanice lakovacieho pracoviska bolo potrebné najskôr zvoliť typ robota. V našom prípade bol zvolený robot IRB 2600ID, ktorý je zobrazený na obr.3. Kritériom pri výbere daného robota bolo počet osí voľnosti, aby robot dokázal vykonať všetky pohyby stanovené v rámci požadovanej pracovnej oblasti. Efektorom, čiže pracovným nástrojom daného robota je striekacia hlavica.



Obr. 3 Model priemyselného robota IRB 2600ID.

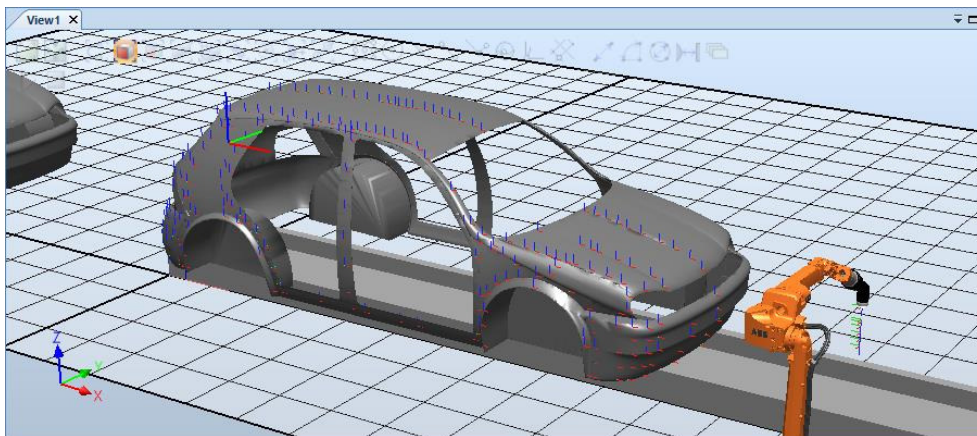
Ďalším krokom pri zostavovaní pracovnej stanice je vytvorenie dopravníkového systému. Samotný dopravníkový systém pozostával z modelu dopravníka, ktorý bol vybraný z knižnice programu. V rámci vytvorenia dopravníkového systému je potrebné nastaviť polohu a orientáciu vybraného robota a následne funkciou *Create workobject* nastaviť rozloženie prvkov daného robotického pracoviska. Po vytvorení bude program schopný aktualizovať každú zmenu polohy objektov vytvorených v systéme, preto je veľmi dôležité ho vytvoriť hneď na začiatku programovania. Po vytvorení „workobject-u“ je systém pripravený na vloženie modelov karosérií do systému. Pri vložení karosérie je potrebné nastaviť jej pozíciu na dopravník aby sme zabezpečili posúvanie objektu po dopravníku. Po priradení objektov ku dopravníku je ešte potrebné v konfiguračnom okne skontrolovať jednotlivé parametre ako sledovacia vzdialenosť, šírka spúšťacieho okna, minimálna a maximálna vzdialenosť. Výsledná pracovná stanica je zobrazená na obr. 4



Obr. 4 Pracovná stanica s dopravníkom a robotom.

### C. Vytvorenie dráhy lakovacieho procesu

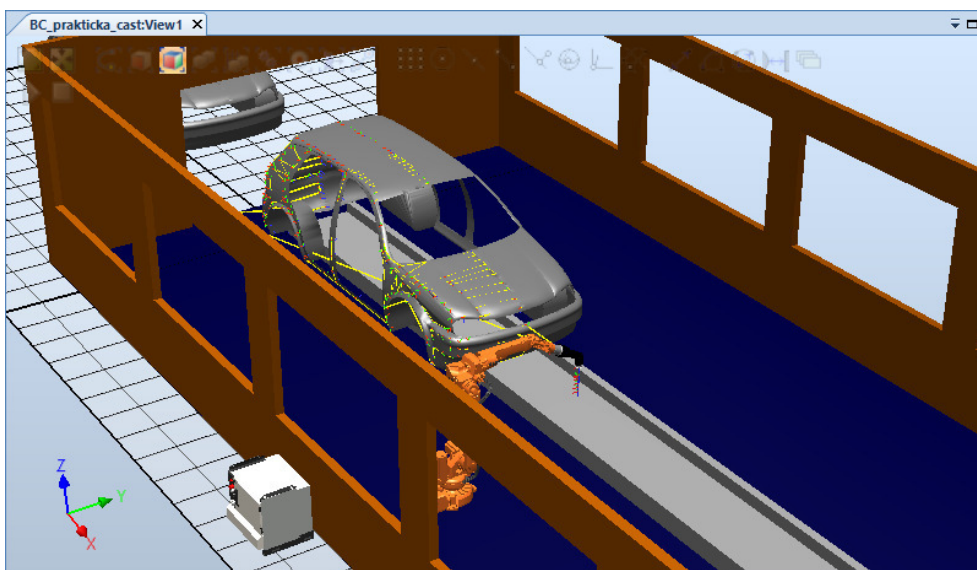
Pri vytváraní trajektórie lakovacieho procesu sme zvolili metódou automatického generovania trajektórie. Pri tomto riešení je nutné definovať body, cez ktoré má prechádzať dráha robota. Prostredníctvom funkcie *Create Target* sme začali zadávať jednotlivé body pohybu s následnosťou, akou majú byť vykonávané. Po definovaní všetkých bodov je potrebné ešte nastaviť polohu hlavice voči karosérii automobilu v daných bodoch, aby robot dokázal prispôbiť polohu koncového efektora jednotlivým bodom na predpísanej trajektórii. Dané body je možné polohovať buď jednotlivito alebo modifikovať po skupinách. Na obr. 5 sú zobrazené polohy definovaných bodov trajektórie. Po vytvorení dráhy pohybu je ešte potrebné synchronizovať definovanú konfiguráciu s virtuálnym kontrolérom s následnou možnosťou úpravy programu priamo v zdrojovom kóde.



Obr. 5 Karoséria automobilu s definovanými bodmi trajektórie.

#### D. Simulácia lakovacieho procesu

Pri spustení simulácie je potrebné pomocou nastavenia simulácie vložiť do spúšťacej sekvencie súbor s vytvoreným definovaným pohybom. V prípade simulácie viacerých objektov potrebujeme vložiť rovnaký počet súborov, aký je počet pracovných objektov systému. Simulácia umožňuje urobiť záznam sekvencie pracovného procesu. Taktiež je v simulácii možné merať čas jednotlivých operácií a na základe výsledkov optimalizovať celý výrobný proces. Vytvorený výsledný model lakovacej stanice v priebehu simulácie je zobrazený na obr.6.



Obr. 6 Simulácia lakovacieho procesu.

### III. ZÁVER

Cieľom tohto príspevku bolo predstaviť a na základe lakovacieho pracoviska ukázať možnosti softvéru ABB RobotStudio. Využitie takéhoto simulačného nástroja má opodstatnenie napr. pri výučbe riadenia priemyselných robotov, kde sa študenti môžu oboznámiť s rôznymi výrobnými procesmi a vyskúšať si programovanie priemyselných robotov. Nakoľko softvér ABB RobotStudio je využívaný aj pri praktickom programovaní reálnych robotov, ktorých presné modely sú súčasťou tohto softvéru, študenti môžu využiť prácu s týmto simulačným nástrojom aj pri praktickom programovaní robotov.

### REFERENCES

- [1] V. Šimák, A. Janota, *Robotické systémy*, EDIS – vydavateľstvo Žilinskej univerzity v Žiline, 2013.
- [2] VITRALAB, *Automatizačná a robotická technika*, Leonardo da Vinci Programme LLP/LDV/TOI/2009/SK/93100530, 2009.
- [3] Návody ABB RobotStudio, Dostupné na internete: <http://new.abb.com/products/robotics/sk/robotstudio>

# The application of symbolic-text interface for handicapped persons education

<sup>1</sup>Branislav SOBOTA, <sup>1</sup>Štefan KOREČKO, <sup>1</sup>Ladislav JACHO, <sup>1</sup>Peter PASTORNICKÝ

<sup>1</sup> Department of Computers and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>branislav.sobota@tuke.sk, <sup>1</sup>stefan.korecko@tuke.sk

**Abstract** — this paper discusses and describes various health problems of handicapped children. Very important is description of the forms of teaching and learning of such persons through which can be designed the user interface. The work functionality is mainly focused on teaching of disabled persons through special symbols which represent individual words. The practicability is therefore the software implementation, which assign a symbol according the text, based on what the symbol represents. The final web-application product could be set on in the real use for these people.

**Keywords** — handicapped people, software for education, symbolic-text learning, web application

## I. INTRODUCTION

People, who have health disability, often have problems in understanding correlate different things, and there is need some way to help them to solve this problem. One way, how to facilitate their learning and understanding is the form of images and symbols that represent the meaning of that word or sentence [1]. The fact that this education system is really useful needed continuous communication with special teachers of these children. It is such difficult to be best suited to persons with disabilities. It is not possible to make a universal education system for all kind of children disabilities [2].

For every kind of disability is the main point to create the system the simplest in terms of control of usage and with very simple graphical interface [3]. The described application is with its functionality designed just for the needs of students' interest, but in the other side there were needed some other people who will create some activities for those students. So the system needs to obtain some administration panel for teachers where they could create some exercises for the children. So this application is not useful only for children but it is also useful from the teacher side, because all exercises for children have to be created by teachers and then they should take a look at the result of each exercise in one place.

## II. PEOPLE WITH DISABILITIES

### A. Persons with disabilities

Person with disability we could define as any person, who has a physical or mental impairment that substantially limits one or more major life activities, has a record of such impairment or is regarded as having such impairment [4]. Major life activities include walking, talking and hearing, seeing, breathing, learning, performing manual tasks, and caring for oneself.

We could divide disabilities by:

- Impairment mobility
- Mentally disabled
- Vision and hearing disability
- Speech disorder (dysarthria)
- Physical disability
- Brain dysfunction
- Cognitive impairment



Approximately 650 million people live with a disability worldwide nowadays (10% to 20% per country). Disabilities are more common in developing countries and likelihood of disability also increases with age. Impaired people need to use supporting technologies to work with computers [5], mainly alternative user interface tools such as readers (text to speech software) or screen magnifiers. So it is important to consider these people and provide them with ways to have integrated into society. There is no chance to create an universal system or product that should be useful for all of these disabilities in one. So every disability needs to have their own technical resources which could help to integrate this kind of people into society. This world lives in digital age and it should be the best chance to integrate all of these people with disability into society by using this digital ways.

### *B. Handicapped people and digital technologies*

Every disability needs to have special kind of hardware, which makes that technology useful for such people. So the main thing which is needed to be included in this technology is some special input or output device which could help such people to use and control the current device in context of HCI (Human Computer Interaction) [6]. For example, if children have problem with hearing, there is need to have some special input device by which could this person communicate with the computer or something like this, if person have mobility impairment, there is need to have special device by which could the person control the computer and so on. This kind of hardware is very expensive and parents of these children could not be able to buy these extension parts of computer for their children. The only place, where these children could meet with some of this technology could be the school, where is more than one person with similar disability and they could alternate use of its. This is a technical problem but only from the hardware side. There is also way to produce some kind of software which should be helpful for some kind of handicapped people [7]. Software could make some transfer of voice into text or make control of the computer by specific gestures or something what transfer input information into output information. For example communication between normal child and handicapped child, normal child could input normal text and the output is converted to the type which other child with handicap could recognize and answer on it. But there should be a lot of other types of software and the advantages of software are that it should be more available for handicapped people like expensive special hardware. So we could divide digital technology by type of disability to hardware and software.

For some kind of people disability is needed to have a special hardware technology which could simulate usage of mouse or keyboard and by this external device they could use special software. Special category of disability is a cognitive impairment [5].

The goal of this paper is to create an education system for this kind of handicapped people, because they have no access to special hardware. Cognitive disability is when a person is not able to solve the problem, he or she is not able to resolve the easy logical example and also has problem to concentrate.

## III. COGNITIVE DISABILITY AND WEB ACCESSIBILITY

Cognitive disability could divide into:

- Memory
- Problem-solving
- Attention
- Reading, linguistic and verbal comprehension
- Math comprehension
- Visual comprehension

There are at least two ways, how to classify cognitive disabilities: by functional disability or by clinical disability. Clinical diagnoses of cognitive disabilities include autism, Down syndrome, traumatic brain injury (TBI), and even dementia. Less severe cognitive conditions include attention deficit disorder (ADD), dyslexia (difficulty reading), dyscalculia (difficulty with math), and learning disabilities in general. As [8] indicates, it is mainly on the text interpretation and the process of reading and writing. It defines personal learning environment for people with disabilities.

The goal is to implement useful application for this kind of handicapped person. If we take a look at all of the category of cognitive disability there is no real chance to obtain in one application all kinds of cognitive problems, but this web application is primary created for all of such people [2].

The function of application could be universal for all kind of cognitive disabilities but there could be problem, if the person is not interested in making some exercise by this application. It is too hard to convince this person to make something, but the person does not have any interest to make it. So to avoid this kind of problems, we have to consider that fact and follow some important points.

Points are created by collected experiences, when some cognitive people work with some kind of web application and the developers find out some principles.

Important principles should be:

- Simple
- Consistent
- Clear
- Multi-modal
- Error-tolerant
- Attention-focusing
- Improving web accessibility for this audience will improve access for everyone.

In many ways, it is hard to define when the page is accessible for users with cognitive disabilities [2]. How simple is simple enough? For the most part, cognitive web accessibility is one of those "you know it when you see it" things. Common sense, holistic evaluation, and user testing should predominantly guide cognitive web accessibility evaluation. In connection with this, [9] referred to the problems and challenges faced by cognitively disabled people when using a computer. The solution was designed also there to make the use of a computer easy for them. This solution contains a clear workspace and in addition it includes support for disabled users, their parents, educators and teachers.

#### IV. DESCRIPTION OF FUNCTIONALITY

This chapter is a simply overview of what this work need to include, to be useful for disabled users. The usage from the student side is that they can choose, if they want to train some sentences by typing some words into that application and if that word already exists. The result will be the symbol, which represent the current word. If word does not exist, the sad emoticon will be shown, that indicates, that the word which is the user typing, does not exist or makes some mistake in that word. This could help to train writing of some words from mind.

Another exercise is the test, which is created by the teacher and the test contains predefined text and that text is converted into symbols. Users are able to see just symbols and their task is to call all the symbols. So this kind of exercise is good not just for children to learn enjoyable techniques, but also useful for the teachers. The last exercise is to train the tests which teachers gave to the students to make some exercises on their own and could train before test for a marks. So this is a simply description of software usage from children side. In the simple algorithm you could see the whole function of the app Fig. 1.

On the teacher side there is need to have some administration interface. Teachers have to be able to create new symbols and words and could add them to the word database. Another important function for teachers is the creation of new tests and test exercises for students. All results from tests that students applied are shown to teacher and helps teacher to improve the test for the future, get statistics of what kind of words make the students the biggest problem and so on. So it is not only useful just for children but for teachers too. Similar applications are already created worldwide, but there are problems with language, or are too expensive.

The function is just one part of the application, because we have to conduct in accordance of principles to develop software for this kind of users. So the application have to be very easy to use, very clear and maybe a little bit colorful, very simple to control the application and need to contain bigger elements than web application for ordinary people. The user interface is very important in this kind of web application but there is no need to use all modern technical features because for this kind of people it should not be very useful.

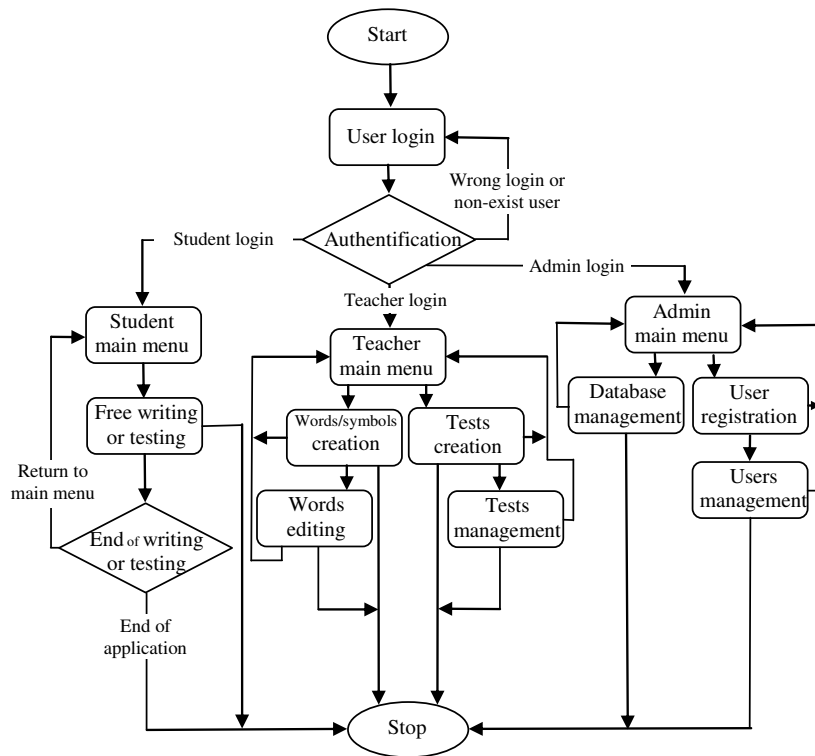


Fig. 1 Basic algorithm of application usage

### V. IMPLEMENTATION OF SOFTWARE

Web application has more advantages than the static desktop application. The only disadvantage is the need to have internet access, to be able to use it. But there is no need to install some special software or have some special operation system. Users who want to use this application only need to have web browser and internet connection. The advantage is that on the web application could children connect from anywhere where they want if they have these two main prerequisites. So pupils could test their own skills also if they are not in the school. So this makes this kind of application more complex like some desktop related software. This could be given to the teacher by very simple way to give children some homework exercise for example when they have school holiday or just more training if experiences and marks of tests are not very good of current child. All these advantages are obtained in the web application. Complete final product of this application is shown in the picture Fig. 2 and in the Fig. 3. The picture shows sample in free write mode and in test mode. The difference is, that in the free write mode there are symbols only when the person types something and in the test mode there are all symbols and user have to type something under the symbol and the goal is to guess the correct word under the symbol, so guess what that symbol represents.

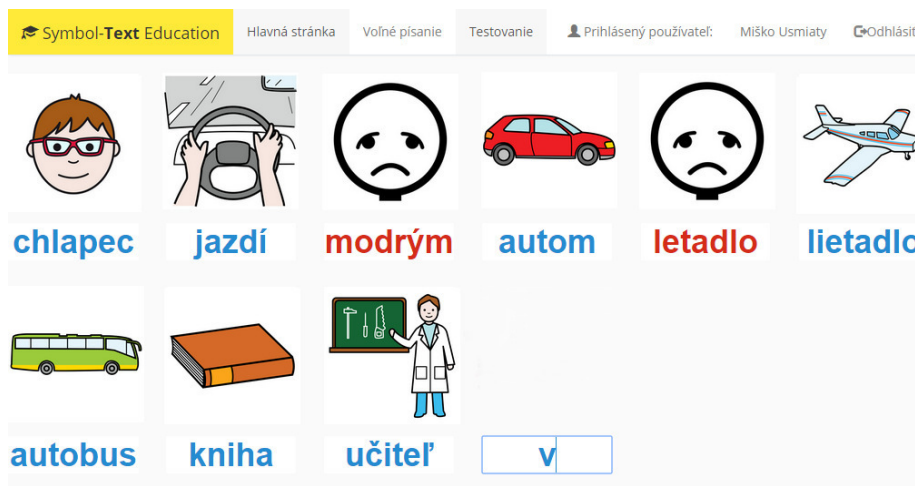


Fig. 2 Sample of the free write mode for students (in slovak language)

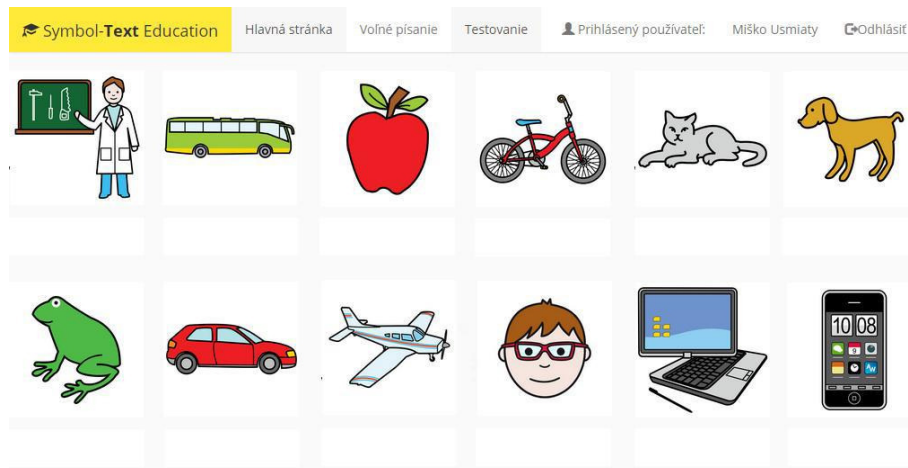


Fig. 3 Sample of test view (in slovak language)

## VI. CONCLUSION

The paper deals with all the possibilities to integrate users with disabilities into the educational use of information technology. That is the main objective of this work, creating a favorable interaction of disabled people to information technology. It was necessary to analyze the issue of an interactive interface with a focus on disabled users. The analysis of this point was the outcome of the merger of disabled people and information technology may be an interesting tool, which in some cases will facilitate the work of special teachers and in turn can game series to take these people with disabilities and thereby gain their interest in such a form to acquire new knowledge. This work is intended for disabled users with impaired perception and concentration, cognitive disorders and therefore also slightly stages retardation. The final product of this work is a web application with the possibility of passing by users with disabilities, two different modes of teaching, either by testing or freelance writing. Teacher is allowed to create application tests to further push the students to test.

## ACKNOWLEDGMENT

The article has been supported by the KEGA grant no. 083TUKE-4/2015, "Virtual reality technologies in the process of handicapped person education" and it is also the impact of the projects implementation: Center of Information and Communication Technologies for Knowledge Systems (ITMS project code: 26220120020) and Development of the Center of Information and Communication Technologies for Knowledge Systems (ITMS project code: 26220120030) supported by the Research & Development Operational Program funded by the ERDF

## REFERENCES

- [1] Sobota, B. – Korečko, Š: Virtual Reality Technologies in Handicapped Persons Education; in: *Advanced in Information Science and Applications - Volume 1*. - S.l. : s.n., 2014 P. 134-138. - ISBN 978-1-61804-236-1 - ISSN 1790-5109
- [2] Center for persons with disabilities: Evaluating Cognitive web accessibility [online] [cit 2017] <http://webaim.org/articles/evaluatingcognitive/>
- [3] Capes, T.: User Interfaces in Computing. [online] [cit 2017] <http://www.cs.toronto.edu/~capestim/csc104/csc104s11/UserInterace.pdf>
- [4] The conception of disabled children education [online]. <https://www.minedu.sk/data/att/937.pdf> (in slovak)
- [5] Nielsen, J.: Beyond Accessibility: Treating Users with Disabilities as People. [online] [cit. 2017] <<http://www.nngroup.com/articles/beyond-accessibility-treating-users-with-disabilities-as-people/>>.
- [6] Sinha, G.; Shahi, R.; Shankar, M.: Human Computer Interaction. In: *Emerging Trends in Engineering and Technology (ICETET)*, 2010 3rd International Conference on. IEEE, 2010. p. 1-4
- [7] Saito, D.S.; Pivetta, E.M.; Ulbricht, V.R.; de Macedo, C.M.S.: Evaluation of accessibility with the deaf user; in *Communications in Computer and Information Science*, from 15th International Conference on Human-Computer Interaction, HCI International 2013; Las Vegas, NV; United States; 21-26 July 2013, Volume 373, Issue PART I, pp. 276-280, ISSN 18650929
- [8] Lancheros-Cuesta, D.J.a , Carrillo-Ramos, A.b , Pavlich-Mariscal, J.bc: Personal learning environment for disabled people; in *Proceedings of 8th Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI 2013*; Lisbon; Portugal; 19-22 June 2013, ISBN 978-989984340-0
- [9] Kumar, S.N.a , Baijal, S.a , Chourey, L.a , Ramamurthy, A.b , Sasikumar, M.c: Conceptualizing a desktop environment for cognitively challenged people; in *Proceedings of International Information Technology Conference, CUBE 2012*; Pune, Maharashtra; India; 3-5 September 2012, pp. 366-370, ISBN 978-145031185-4

# Social Networks for Mentoring in Higher Education

<sup>1</sup>Michaela BAČÍKOVÁ, <sup>2</sup>Jaroslav PULIK

<sup>1</sup>Department of Computers and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>2</sup>Department of Computers and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>michaela.bacikova@tuke.sk, <sup>2</sup>jaroslav.pulik@student.tuke.sk

**Abstract** – Communication is an inseparable part of mentoring. In higher education, there are multiple supporting tools for communication, while most of them are inefficient for the specific domain of mentoring. We believe that it is possible to reach higher effectiveness of the supervising process by supporting the mutual communication between pedagogues and students by the right tool. In this paper, we propose an integration of existing tools into a centralised system similar to a social network. To support and verify our findings we have designed and implemented SchoolSpace, a communication tool for supporting mentoring in higher education. SchoolSpace was implemented by using the microservices architecture to ensure higher rate of sustainability of the system in the future. It consists web application and multi platform mobile application, notification interface and a REST API interface. In this paper we also experimentally demonstrate the applicability and functionality of the implemented solution by testing with the selected sample of pedagogues and students.

**Keywords** – Social network, higher education, supervision, mentoring, communication tool, microservices architecture

## I. INTRODUCTION

The main goal of this paper is to increase effectiveness of the mutual communication between pedagogues and students in the supervision process. Nowadays, their mutual communication is usually done in different ways according to several factors. In case of an on-demand communication the preferred tool way is by email or face to face communication. In case of the need for intensive consultation, face to face is preferred, many pedagogues, however, prefer group consultations for effectiveness - there is no need to repeat shared information to all students individually. Many researchers identified social networks to be an enhancement in communication between both sides.

In this work, we focus on the effectiveness of mentoring, which usually happens in small groups, in most cases composed of 3 up to 8 students.

Within these groups pedagogues needs to be able to do effective mutual communication, share information and data and monitor work and activity of the students. So it is some form of the pedagogue's surveillance over the students work — called mentoring. According to Mladenovic [1] mentoring is the collection of complex relations between various types of people, generally between the mentor and mentee. Mladenovic [1] also claims that mentoring is the key factor to reach the success of the mentee.

According to [2] Mentoring is generally defined as the process when mentor lead mentee in personal or professional development. Qahtani [2] also did the study within which it was discovered that mentoring is perceived as an effective way to develop potential of students (according to 92% of asked students). One form of the mentoring is also mentoring realized through computers and internet. Such a form of mentoring is called e-mentoring. According to Bierema and Merriam [3] One of the main advantages of e-mentoring is that it shifts boundaries that can be social, economic, cultural, or physical by using modern technologies. The ideal tool to realize e-mentoring in higher education in practice could be social networks.

### *A. Use of the social media in higher education*

Social media makes possible for users to share content and communicate mutually very naturally. Users can easily share almost any type of content (text, pictures, videos, voice, ...) while other users can react immediately to that content. Other important features are real time notifications, support for popular mobile operating systems by native mobile applications and constant development bringing actual trends and enhancements.

We studied the deployment of social networking tools used in mentoring process at other colleges and universities to understand its importance. The studies realized by Hurtado [6] and Junco et al. [4] realized among 31 000 students from 114 different colleges or universities has shown that social networks are an important everyday part of students' life.

Students were divided into two groups. While control group was composed of students working in standard way, students in the experimental group used using social network Twitter as a part of the teaching process. Both studies have shown that the right deployment of social network in the teaching process can increase commitment of students and also improve their study results.

Heiberger and Harper [5] realized a research between 377 students of the Midwestern Institute. They claim that it is necessary to communicate with students enough and properly. The best way is to use modern and popular communication tools or social networks.

Tayseer [7] focused to determine the impact of social networks used in the teaching process on students. Following recommendations were defined based on the research. Instructors and pedagogues should motivate students to use social networks for the academic purposes. Some students are too shy to ask questions face to face but they have no problem asking on-line through social networks. Further it is recommended to interconnect and merge social networks with existing tools and services used to manage, submit tasks and gain information.

Based on the mentioned benefits and research we will focus on the integration of social networks as the main communication tool allowing e-mentoring in higher education.

### *B. The goal of this paper*

In this paper we attempt to define the effect of using social networks within the teaching process to commitment, activity and satisfaction of students. We will summarize currently used tools and services by pedagogues to ensure higher rate of the mentoring process and better communication possibilities to students. Based on these findings we will design a new communication tool inspired by modern social networks. This tool will be designed, implemented, tested and subsequently will be evaluated its benefits, shortcomings and possibilities of the future research and usage.

## II. A STUDY ON CURRENTLY USED TOOLS AND SERVICES IN HIGHER EDUCATION

We realized a study with 24 pedagogues from the Department of computers and informatics at our university. The study focused on the most frequently used forms of the communication between pedagogues and students. The results were as follows:

- Up to 22 pedagogues regularly use email communication,
- 6 pedagogues prefer personal communication,
- 2 to 3 pedagogues use any of the existing tools such as LMS Moodle, Facebook etc.

Based on the research we can see the domination of the email-based communication. This domination is subjected to its simplicity and speed. We also performed a second survey to find out how many emails from students receive pedagogues every day on average. We discovered that in specific periods of semester (e.g. during the exams) some pedagogues could be daily overloaded by dozens of emails, while we counted only emails from students in the role of mentees and excluded emails from other students related to study subjects or emails from the school leadership and other parties.

In quiet periods of semester pedagogues deal with 2 or 3 emails daily on average. According to our findings the most used existing tools and services by pedagogues to rise mentoring opportunities are: LMS Moodle, Workweek, GitLab, Facebook, Google Docs, Google Calendar, Google Drive and Dropbox.

### *A. Requested features by pedagogues and students*

One of the questions of realized research between mentioned 24 pedagogues was also what features they request to be included in the new communication tool. The most requested feature by pedagogues is calendar functionality allowing users to create and manage events and tasks (20 / 24). Another requested features include the possibility to track students' activity on their projects during the semester (14 / 24), grouping feature (14 / 24), possibility to get feedback from students (13 / 24), file and other content sharing (12 / 24) and possibility to interconnect existing college tools and services with that new tool (12 / 24).

### B. Conclusion of the study

The following conclusions were drawn from the performed study. We also denote the main possibilities of future refinement of the mentoring process in the higher education and its main shortcomings.

1) *Email based communication is insufficient:* Email based communication is currently the most common way of communication between pedagogues and students. Pedagogues are daily overloaded by the amount of emails from students. The main problem of the email based communication is an almost non-existing possibility to create some form of shared space between collaborating pedagogues and students. For pedagogues, this drawback means the necessity of answering repeatedly the same or very similar questions and requests from students. It takes a lot of time in the result for pedagogues. Second disadvantage is that the content is mixed with emails concerning other duties than mentoring.

2) *Commitment and motivation of students could be increased:* Social networks have the potential to support the possibilities for progressive building of community among individual users (pedagogues and students) and to increase the commitment, activity and motivation of individual students. That makes possible mutual assistance between individual students only with monitoring or possible little help from pedagogues. Thanks to these features the initiative is moving from pedagogues to students.

3) *The base is integration of existing college tools and services:* The basic assumption for a successful communication tool to improve mentoring possibilities and to be used during the teaching process, is *integration of existing college tools and services*. Another condition is integration all of the requested features from pedagogues and students. According to our knowledge, such a tool does not exist.

4) *Personal communication:* Personal communication is still the best form of mentoring. However, our goal is not to replace personal communication completely, but merely support the already existing electronic communication and replace email communication, which is highly ineffective and not centred for mentoring.

### III. DESIGN AND IMPLEMENTATION OF OUR OWN SOCIAL NETWORK

We have designed and implemented a new social network called SchoolSpace that integrates the mentioned features. The goal of the design was high rate of sustainability, expandability and security. According to Shklar [8] to ensure versatility, higher rate of sustainability and scalability of application it is advantageous to use the microservices architecture. According to Channabasavaiah [9] and his research realized at the software company IBM it is highly probable that web services (WS) will become standard in future to ensure effective, reliable and easy scalable connections between client and server. According to Thones [10] the use of several web services implemented by using different technologies while each one is independently scalable, testable, suitable and intended what ensures the concrete, partial functionality of the entire system is called microservices architecture.

The design of the architecture layout of individual components for the proposed social network is displayed on Fig. 1. Design of the architecture was based on the microservices architecture so several independent services were designed which as a whole represent eventual communication system.

The following technologies were used when developing *SchoolSpace*:

- REST API interface backend was implemented with PHP framework Yii 2.
- Notifications server was implemented by using NodeJS server and WebSocket technology.
- Redis server (key - value storage) provides communication between REST API interface and notification server.
- Web application was implemented by using JavaScript framework ReactJS.
- Multiplatform mobile application for Android and iOS was implemented by using JavaScript framework React Native.

The most important features identified in our study were also implemented:

- *Groups* - allows users to connect through groups. Users can connect to groups by using the unique access code. Users (students) can connect selected repositories from college GitLab instance to individual groups. Other users (pedagogues) can track activities of students on these repositories / projects.
- *Posts, comments and reactions* - users can create new posts within selected groups. They also can react to individual posts by selecting one of predefined reactions ("like", "dislike", "good point", "work in progress", ...) or comment them.
- *Notifications* - users are notified about all important events by the notifications in real time.

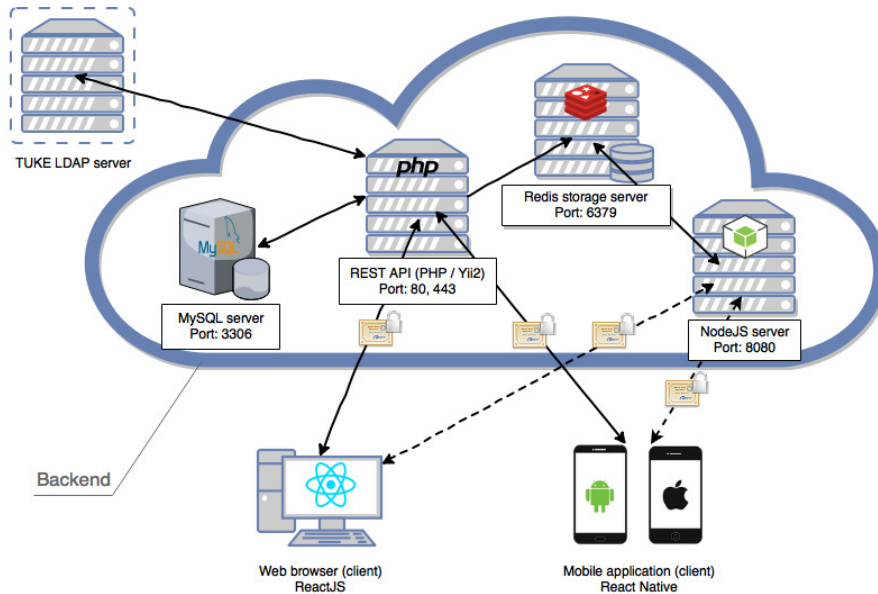


Fig. 1 Design of the architecture layout for proposed social network.

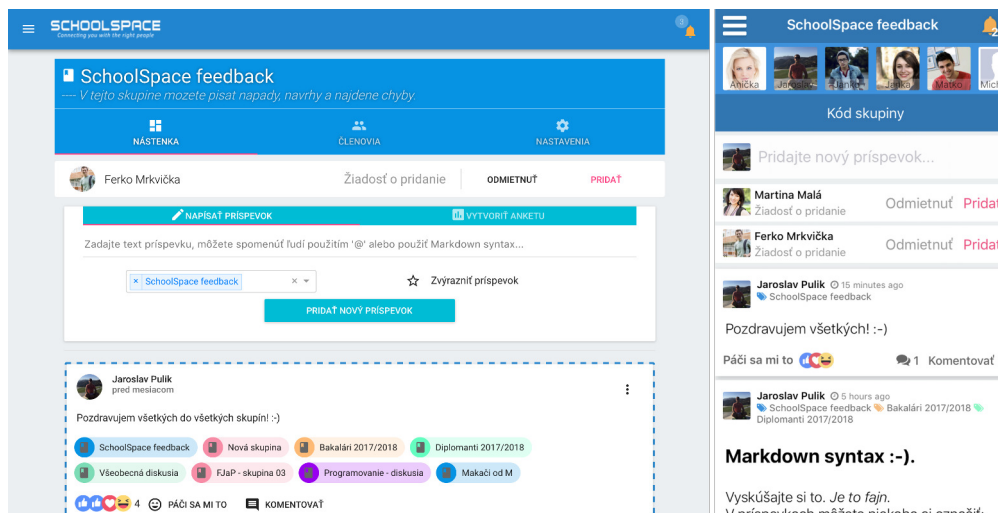


Fig. 2 User interface of the implemented SchoolSpace social network web and mobile application.

- *Calendar* - users can manage their connected Google calendars with the integrated calendar component in the web application. Individual Google calendars can be marked as public thanks that other users can see events from this calendars in user's public profile. E.g., the students can see teacher's daily schedule and are able to better plan consultation dates.
- *Integration of existing college tools and services* - users can connect some of their existing accounts from third party tools and services (Google Calendar, GitLab, WorkWeek) used at college to SchoolSpace.

Fig. 2 illustrates the implemented user interface sample of the SchoolSpace web application (left) and SchoolSpace mobile application (right).

#### IV. EVALUATION

##### A. Usability tests of the implemented solution

Experimental verification of the applicability and functionality of the implemented solution was done by user testing with two different scenarios — separately for the web application and for the mobile application. 5 pedagogues and 5 students were selected for the verification.

In the web application, pedagogues and students discovered multiple drawbacks and all of them were resolved after user testing. Layout of the user interface was slightly redesigned, individual screens were stronger marked and content of the social network is now automatically



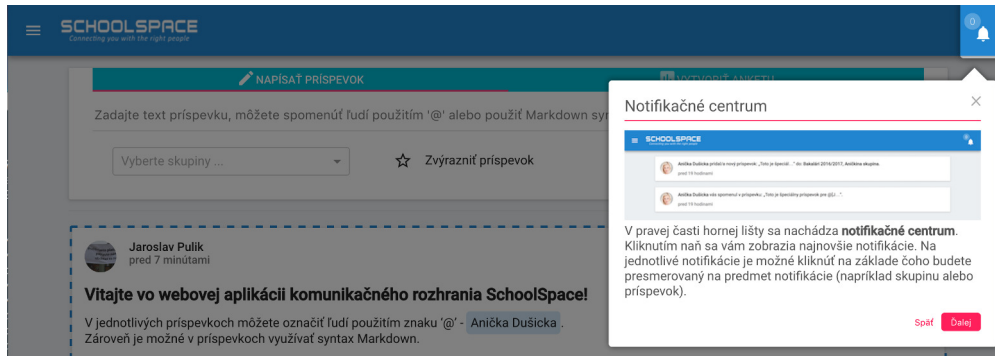


Fig. 3 Interactive guide displayed after first login into the web application.

complementing in background based on the received notifications. However, the main refinement was done by integrating the interactive guide. This interactive guide is displayed after first login of every user to the web application and conducts user through the user interface with detail description of the individual components, see Fig. 3.

Functionality of the implemented mobile application was confirmed similarly. We implemented the solution on two most popular mobile operating systems - iOS and Android. All of the identified shortcomings were also resolved.

### B. Summary of benefits

Individual benefits of the implemented and tested solution were collected by using a questionnaire among the pedagogues. The goal was to find out the pedagogues overall view on this problematic, their opinion to the implemented communication interface, their opinion of its main idea consisting in integrating existing college tools and services, as well as the possibilities of the future development and usage of the solution in the practice.

Based on the information gained from research it is possible to summarize following findings. Pedagogues had inconsistent views on the implemented user interface overall. Most of them (3) described it as intuitive and compendious enough, but some of them (2) noted that the layout of the user interface needs to be enhanced. However, all pedagogues appreciated the high level of the mobile application user interface design and at the same time they highlighted the used standards and conventions from the user interface of the web application. So users felt comfortable during using the mobile application and they were able to work intuitive and fast enough thanks to existing experience from web application. In contrast to the students, up to three from five pedagogues does not consider the mobile application as an important part of the social network SchoolSpace. However, all of the students highlighted existence and emphasized the importance of the mobile application. They noted that mobile application ideally separates the received notifications from the other applications so students won't overlook important events from college. All pedagogues strongly agree with the main idea of the implemented SchoolSpace social network to integrate existing tools and services (WorkWeek, GitLab, Google Calendar, ...). They welcomes the integration of these services into the single application which makes possible to gain fast overview of the work done by students during the semester and at the same time allowing to do interactive mutual communication with students. They consider it as the main advantage of the SchoolSpace social network. At the end of the research, all pedagogues also clearly agree that implemented solution has the big potential to be deployed in real world conditions and to be used by pedagogues and students of the Technical university in Košice. The boundary between success and failure they see in details, therefore it is extremely important to do the further development based on the nascent requirements of the pedagogues and students, improve existing features and fix found bugs and drawbacks.

## V. CONCLUSION

The possibilities of increasing the effectiveness of the mutual communication between pedagogues and students were analysed in this paper. Also the effect of the social networks used during the teaching process to the students commitment and motivation and the possibilities of the supervision over the students work - the mentoring process were analysed. Based on our research we have defined necessity of creating the effective communication tool in the form of the social network which will integrate existing tools and services used in higher education. We proved and demonstrated the definite positive effect to commitment and motivation of students in use of the

social network tools during the teaching process. On the basis of our findings and requirements defined by pedagogues and students we have developed and deployed our own communication tool in the form of social network SchoolSpace. On the basis of the following user testing we have summarized the identified shortcomings of the solution and on the basis on the questionnaire the benefits were defined. The main benefits for pedagogues are: the possibility to supervision over the work of students, to monitor the activities of students during the semester and use of the interconnected third party college tools and services. The main benefits for students are: the possibility to use modern and popular functionalities of the commercial social networks as for example notifications or reactions, help each other in solving problems and reach the important information anytime and from anywhere.

## VI. RELATED WORK

The e-mentoring problematic was dealt by Single in his research [11]. It was addressed also by Liu [12], Murphy [13], Bierema [3], Dabner [14], Perren [15], Thompson [16], Shrestha [17] a Kasprisin [18]. In the studies by Ellison [19] [20] the possibilities of social networking tools used in the higher education were analysed. Pollara [21] explores the potential use of Facebook social network within the science and mentoring program.

## ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by KEGA Grant No. 047TUKE-4/2016 Integrating software processes into the teaching of programming.

## REFERENCES

- [1] M. Mladenovic, "Mentoring in Higher Education," *A paper submitted for the Virginia Polytechnic Institute and State University*, pp. 1–14, Fall 2012.
- [2] S. A. Qahtani, "Students knowledge of, and attitudes toward, mentoring: a case study at the Masters Program in Health and Hospital Administration," *Advances in Medical Education and Practice*, pp. 149–152, June 2015.
- [3] L. L. Bierema and S. B. Merriam, "E-mentoring: Using Computer Mediated Communication to Enhance the Mentoring Process," *Innovative Higher Education*, vol. 26, no. 3, pp. 211–227, Spring 2002.
- [4] R. Junco, G. Heiberger, and E. Loken, "The effect of twitter on college student engagement and grades," *Journal of computer assisted learning*, vol. 27, no. 2, pp. 119–132, 2011.
- [5] G. Heiberger and R. Harper, "Have You Facebooked Astin Lately? Using Technology to Increase Student Involvement," *New directions for student services*, vol. 124, pp. 19–35, Winter 2008.
- [6] S. Hurtado, "College freshmen and online social networking sites," *Higher Education Research Institute (HERI) Research Brief. Retrieved February*, vol. 5, p. 2009, 2007.
- [7] M. Tayseer, F. Zoghieb, I. Alcheikh, and M. N. Awadallah, "Social network: Academic and social impact on college students," in *ASEE 2014 Zone 1 Conference*, 2014, pp. 3–5.
- [8] L. Shklar and R. Rosen, *Web Application Architecture: Principles, Protocols and Practices*, 2nd ed. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2009.
- [9] K. Channabasavaiah, K. Holley, and E. Tuggle, "Migrating to a service-oriented architecture," *IBM DeveloperWorks*, vol. 16, 2003.
- [10] J. Thönes, "Microservices," *IEEE Software*, vol. 32, no. 1, pp. 116–116, 2015.
- [11] P. B. Single and R. M. Single, "E-mentoring for social equity: Review of research to inform program development," *Mentoring & Tutoring: Partnership in Learning*, vol. 13, no. 2, pp. 301–320, 2005.
- [12] H. Liu, R. Macintyre, and R. Ferguson, "Exploring qualitative analytics for e-mentoring relationships building in an online social learning environment," in *Proceedings of the 2nd International Conference on Learning Analytics and Knowledge*. ACM, 2012, pp. 179–183.
- [13] W. M. Murphy, "From e-mentoring to blended mentoring: increasing students' developmental initiation and mentors' satisfaction," *Academy of Management Learning & Education*, vol. 10, no. 4, pp. 606–622, 2011.
- [14] N. Dabner, "Design to support distance teacher education communities: A case study of a student–student e-mentoring initiative," in *Proceedings of Society for Information Technology and Teacher Education International Conference*, 2011.
- [15] L. Perren, "The role of e-mentoring in entrepreneurial education and support: a meta-review of academic literature," *Education+ Training*, vol. 45, no. 8/9, pp. 517–525, 2003.
- [16] L. Thompson, M. Jeffries, and K. Topping, "E-mentoring for e-learning development," *Innovations in Education and Teaching International*, vol. 47, no. 3, pp. 305–315, 2010.
- [17] C. H. Shrestha, S. May, P. Edirisingha, L. Burke, and T. Linsey, "From face-to-face to e-mentoring: Does the," *International Journal of Teaching and Learning in Higher Education*, vol. 20, no. 2, pp. 116–124, 2009.
- [18] C. A. Kasprisin, P. B. Single, R. M. Single, and C. B. Muller, "Building a better bridge: Testing e-training to improve e-mentoring programmes in higher education," *Mentoring and Tutoring*, vol. 11, no. 1, pp. 67–78, 2003.
- [19] N. B. Ellison *et al.*, "Social network sites: Definition, history, and scholarship," *Journal of Computer-Mediated Communication*, vol. 13, no. 1, pp. 210–230, 2007.
- [20] N. B. Ellison, C. Steinfield, and C. Lampe, "The benefits of facebook friends: social capital and college students use of online social network sites," *Journal of Computer-Mediated Communication*, vol. 12, no. 4, pp. 1143–1168, 2007.
- [21] P. Pollara and J. Zhu, "Social networking and education: Using facebook as an edusocial space," in *Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference*, vol. 2011, 2011, pp. 3330–3338.

# Optimalizácia aplikácie pre ovládanie inteligentnej domácnosti na platforme Android

<sup>1</sup>Roman VÁPENÍK, <sup>2</sup>Aleš DEÁK, <sup>3</sup>Juraj BONK, <sup>4</sup>František JAKAB

<sup>1,2,3,4</sup> Katedra počítačov a informatiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>roman.vapenik@cni.sk, <sup>2</sup>ales.deak@cni.sk, <sup>3</sup>juraj.bonk@student.tuke.sk, <sup>4</sup>frantisek.jakab@cni.sk

**Abstract** — Článok sa venuje problematike inteligentných domácností, inteligentných spotrebičov a ich ovládaní prostredníctvom aplikácie v mobilnom zariadení, pretože v súčasnosti sa technológie inteligentných domácností čoraz viac rozširujú medzi širokú verejnosť. V článku v stručnosti definujeme inteligentnú domácnosť, popisujeme analýzu pôvodnej verzie aplikácie, venujeme sa analýze optimalizovanej a rozšírenej verzie aplikácie a v závere zhrňame jeho prínosy.

**Keywords** — Android, inteligentná domácnosť, inteligentné spotrebiče, ovládanie domácnosti

## I. ÚVOD

V súčasnosti je pojem inteligentnej domácnosti veľmi diskutovanou témou. Firmy, alebo aj bežní používatelia si nechávajú do svojich domácností inštalovať inteligentné systémy a spotrebiče ako napríklad termostaty, svietidlá, brány a pod. Podľa Jean-Marca Seigneura a jeho kolektívu [1] budú v budúcnosti tieto zariadenia súčasťou väčšiny domácností. Ich cieľom bude zníženie prevádzkových nákladov, alebo len jednoducho budú chcieť zvýšiť svoj komfort pri používaní týchto zariadení. Merania [2] napríklad ukázali, že pri použití inteligentného termostatu a niekoľko senzorov sledujúcich obývacie a spánkové zvyky obyvateľov inteligentného domu je možné ušetriť až 28% energií oproti klasickému riešeniu.

Cieľom práce bolo navrhnuť, vytvoriť a implementovať optimalizácie, zlepšenia a rozšírenia mobilnej aplikácie pre ovládanie inteligentnej domácnosti na platforme Android, pretože pôvodné riešenie aplikácie vyvíjanej v rámci Laboratória počítačových sietí Katedry počítačov a informatiky bolo v mnohých aspektoch nesprávne navrhnuté a niektoré hlavné súčasti boli nefunkčné. Bola tak potrebná oprava rôznych chýb v implementácii.

Dôležitou požiadavkou bola implementácia dvoch druhov komunikácie aplikácie s riadiacou jednotkou inteligentného systému domu. Komunikácia má byť možná nie len v rámci lokálnej siete domácnosti, ale aj na diaľku prostredníctvom internetovej siete. Ďalšie požadované rozšírenia boli dióda informujúca o stave pripojenia, režim úprav umožňujúci správu spotrebičov, importovanie a exportovanie databázového súboru, nové typy spotrebičov a prívetivejšie používateľské rozhranie.

## II. INTELIGENTNÁ DOMÁCNOSŤ

Marie Chan a kolektív [3] definujú inteligentnú domácnosť dvojakým spôsobom. O inteligentnej domácnosti hovoria ako o domácnosti, ktorá automatizuje a optimalizuje ovládanie spotrebičov ako napríklad klimatizácia, umývačka riadu a pod. alebo ako o domácnosti, ktorá monitoruje zdravie svojich obyvateľov a pomáha pri rôznych druhoch hendikepov. Jednou z hlavných úloh inteligentného domu je teda zjednodušenie a zvýšenie komfortu ovládania jeho zariadení a systémov.

Medzi kľúčové vlastnosti inteligentných domácností patrí aj monitorovanie denného života a bezpečnosti ich obyvateľov. Dan Ding so spoluautormi [4] tvrdia, že koncept inteligentnej domácnosti bol pôvodne vyvinutý pre zvýšenie bezpečnosti domov a úsporu energií. V priebehu posledného desaťročia inteligentné domácnosti našli široké uplatnenie aj u postihnutých, hendikepovaných a starých ľudí, ktorí tak môžu naďalej samostatne žiť vo

svojich domoch, čo má za následok zníženie nákladov na profesionálnu starostlivosť.

Milan Hudec [5] rozdeľuje inteligentné domácnosti na základe ich využitia na dve skupiny: inteligentné domácnosti zamerané na komfort a inteligentné domácnosti pre hendikepovaných. Inteligentné domácnosti zamerané na komfort sú domácnosti, ktoré obsahujú spotrebiče a systémy podporujúce komfort, vzdialené spravovanie, odovzdávanie informácií o stave domových priestorov, zabezpečenie alebo energetickú úsporu bez asistenčných služieb zdravotne hendikepovaným ľuďom. Inteligentné domácnosti pre hendikepovaných sú domácnosti obsahujúce systémy zamerané prioritne na asistenčné služby pre starších ľudí a ľudí so zdravotným hendikepom ako napríklad onemocnenie pohybovej sústavy alebo slabozrakosť.

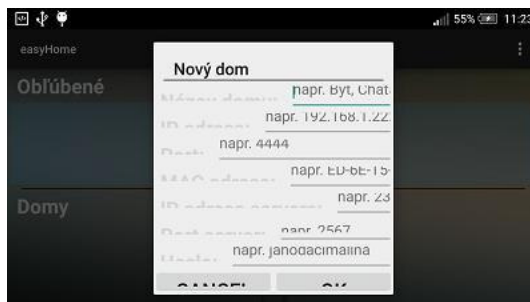
Prieskum [6] ukázal, že medzi systémy inteligentného domu, ktoré starší ľudia považujú za užitočné a používajú najčastejšie patria - telekomunikačné systémy a telefónny záznamník, osvetlenie, hlasové ovládanie žalúzií a ovládanie televízie.

### III. PŔVODNÁ VERZIA APLIKÁCIE

Pôvodná verzia aplikácie pre ovládanie domácnosti bola spracovaná pod záštitou Laboratória počítačových sietí Katedry počítačov a informatiky a nesie názov easyHome. Aplikácia má slúžiť na spravovanie a sledovanie aktuálneho stavu spotrebičov v inteligentnom dome. Používateľské rozhranie aplikácie nevyužívalo dizajnový jazyk systému Android. Samotná aplikácia sa skladala z dvoch hlavných aktivít systému Android.

Prvá predstavuje hlavnú obrazovku aplikácie s výberom domácnosti a druhá predstavuje obrazovku s ovládaním spotrebičov v zvolenej domácnosti. Pri pridávaní nových domácností, miestností alebo spotrebičov aplikácia neaktualizovala svoje používateľské rozhranie a tak bolo potrebné znovu otvoriť danú obrazovku pre zobrazenie zmien. Niektoré textové polia dialógového okna vytvárania novej domácnosti boli z veľkej časti schované za pravým okrajom okna a teda nebolo možné spätne vidieť vkladajúci text. Pri vytváraní spotrebičov je možné zvoliť typ spotrebiča len zo zoznamu dostupných spotrebičov v aplikácii, ktorých názvy nie sú preložené do slovenčiny.

Voľba typu nie je veľmi prehľadná, pretože zvolený typ nie je nijak zvýraznený a teda používateľ nemá žiadnu odozvu o tom, aký typ je aktuálne zvolený. Pri snahe vytvoriť spotrebič, pri ktorom nie je zvolený žiadny typ, aplikácia spadne. Ikony niektorých spotrebičov nezapadajú do grafického štýlu aplikácie a pôsobia tak rušivo, navyše niektoré spotrebiče nemajú prítomné žiadne ikony. Pôvodná aplikácia neponúka možnosť úprav domácností, miestností a spotrebičov. Neoptimalizované používateľské rozhranie je možné vidieť na Obr. 1.



Obr. 1 Pôvodná verzia aplikácie

Na komunikáciu aplikácie s riadiacou jednotkou domácnosti je použitý HTTP protokol a konkrétne využíva knižnicu OkHttp. Pri komunikácii je obsah správ, teda požiadaviek zo strany aplikácie a odpovedí zo strany riadiacej jednotky v JSON formáte. Na ukladanie hodnôt a stavov zariadení z domácností aplikácia využíva relačnú bazu dát SQLite, ktorá je vstavaná do operačného systému Android. Pre ovládanie funkcionality farebného svetla je využitý komponent s názvom HoloColorPicker, ktorý nie je súčasťou štandardného aplikačného programovacieho rozhrania Android.

### IV. OPTIMALIZÁCIA APLIKÁCIE

Implementácia rôznych nápisov a textov používateľského rozhrania akými sú napríklad tlačidlá, popisy, návody a pod. bola nesprávna. Tieto texty boli implementované ako pevné reťazce znakov napísané v kóde aplikácie v anglickom jazyku. Špecifikácia programovacieho rozhrania Android neodporúča tento spôsob zápisov textu. Namiesto toho odporúča odkazovať sa na reťazce znakov uložené v samostatných súboroch prostredníctvom ich identifikátora. Týmto spôsobom je možné jednoducho spravovať rôzne jazykové mutácie textov v rôznych

súborech a systém Android v aplikácii využije vždy tú jazykovú mutáciu textov, ktorá sa aktuálne využíva v samotnom operačnom systéme zariadenia.

Pôvodná štruktúra projektu vo vývojovom prostredí bola správne rozdelená na časť obsahujúcu balíčky a súbory so zdrojovými kódmi aplikácie a časť obsahujúcu adresáre a súbory s textami, obrázkami, ikonami, kódom popisujúcim rozloženie komponentov jednotlivých aktivít a fragmentov alebo iným statickým materiálom potrebným pri vykresľovaní používateľského rozhrania aplikácie. Projekt obsahoval taktiež aj niekoľko XML súborov obsahujúcich popisy rozloženia komponentov používateľského rozhrania ako napríklad tlačidiel, fragmentov a pod., ktoré v aplikácii tiež neboli nikde využité. Odstránením týchto súborov z projektu sa docielilo zmenšenie veľkosti projektu a teda aj samotnej aplikácie.

V pôvodnom projekte boli taktiež nesprávne použité knižnice tretích strán. Ich zdrojové kódy boli napevno skopirované do štruktúry projektu. Tento postup je nevhodný, pretože značne znižuje čitateľnosť kódu a spôsobuje neprehľadnosť v štruktúre projektu. Pre správu knižníc sa využíva buildovací nástroj Gradle. Do konfiguračného skriptu tohto nástroja sa zapíše názov a verzia potrebnej knižnice a tá je následne spolu so všetkými jej ďalšími závislosťami automaticky stiahnutá a zviditeľnená v projekte.

#### A. Nový spôsob komunikácie s domácnosťou

Aplikácia teraz umožňuje komunikáciu s domácnosťou dvojakým spôsobom. Po pripojení na lokálnu sieť domácnosti aplikácia komunikuje s radiacou jednotkou prostredníctvom lokálnej IP adresy a lokálneho portu. Vo všetkých ostatných prípadoch aplikácia komunikuje s domácnosťou vzdialene prostredníctvom globálnej adresy a globálneho portu. Pri zisťovaní hodnôt všetkých spotrebičov v domácnosti, po potiahnutí prstom nadol na obrazovke s miestnosťami a spotrebičmi, je pri využití lokálneho pripojenia poskladaná URL adresa, ktorá môže vyzerať nasledovne:

*<http://192.168.1.200:1234/getstate?>*

Pri nastavovaní hodnoty 1 na spotrebiči s identifikátorom 41 môže pri využití lokálneho pripojenia vyzerať URL adresa nasledovne:

*<http://192.168.1.200:1234/setstate?41:1.0>*

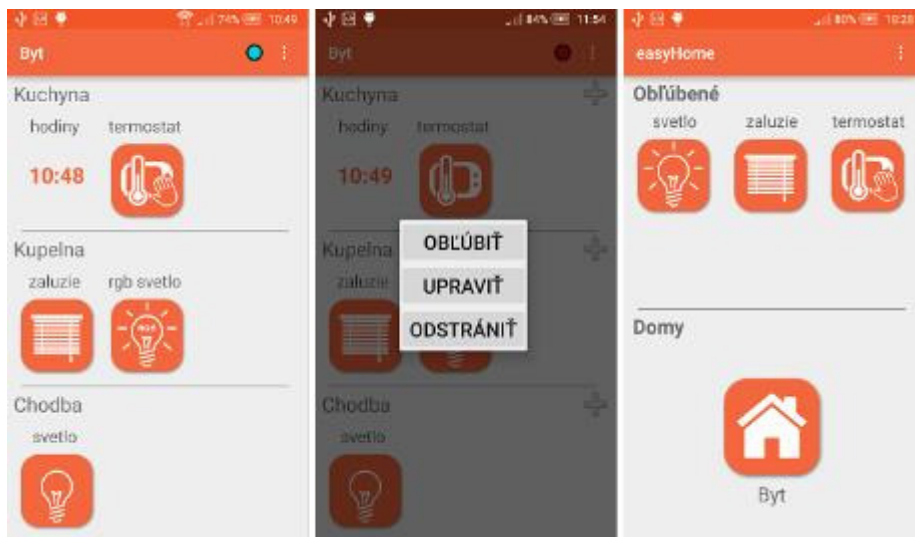
Pri každom zisťovaní alebo nastavovaní hodnôt sa najskôr aplikácia pokúša komunikovať prostredníctvom lokálnej IP adresy a lokálneho portu. Veľmi veľkou výhodou tejto lokálnej komunikácie je rýchla odozva spotrebičov v domácnosti. Ak je však zachytená akákoľvek výnimka programovacieho jazyka Java spôsobená neúspechom komunikácie, aplikácia sa snaží odoslať HTTP požiadavku využitím globálnej adresy a globálneho portu. Pri zisťovaní hodnôt spotrebičov v domácnosti je pri využití vzdialenej resp. globálnej komunikácie vytvorená URL adresa, ktorá môže mať nasledujúci tvar:

*<http://smarhome.ddns.net:5678/getstate?>*

Pri odosielaní hodnoty 1 spotrebiču s identifikátorom 41 môže mať URL adresa pri využití vzdialenej komunikácie nasledujúci tvar:

*<http://smarhome.ddns.net:5678/setstate?41:1.0>*

Formát odpovede, ktorú spätne aplikácia dostane, sa od pôvodnej implementácie aplikácie nezmenil a má tvar JSON poľa. Používateľ je o aktuálne využívanom spôsobe komunikácie informovaný farebnou notificačnou diódou umiestnenou v hlavnej ponuke akcií aktivity predstavujúcej ovládanie domácnosti. Ak bolo pri odoslaní požiadavky možné nadviazať spojenie prostredníctvom lokálnej IP adresy a lokálneho portu, farba diódy sa zmení na zelenú. Ak aplikácia nedokáže komunikovať s domácnosťou prostredníctvom lokálnej siete, ale úspešne nadviaže spojenie vzdialenou komunikáciou, farba informačnej diódy je zmenená na modrú. Ak však mobilné zariadenie nemá k dispozícii prístup na internet, alebo nedokázalo odoslať domácnosti požiadavku ani lokálnym ani vzdialeným prístupom, farba notificačnej diódy sa zmení na červenú a žiadny príkaz na nastavenie alebo zistenie hodnoty spotrebiča nie je vykonaný. Obrazovku s notificačnou diódou v modrej farbe je možné vidieť na Obr. 2 vľavo.



Obr. 2 Rôzne režimy aplikácie

### B. Nové spotrebiče a režim úprav

V rámci rozšírení mobilnej aplikácie, ktoré vznikli na základe nových požiadaviek na aplikáciu bolo potrebné navrhnuť niekoľko nových spotrebičov, ktoré je možné ovládať v domácnosti na diaľku. Bolo teda potrebné navrhnuť zariadenie hodín a multifunkčného tlačidla. Okrem toho bolo potrebné upraviť aj funkcionality a ovládanie niektorých už existujúcich zariadení, aby odrážali reálne vlastnosti a funkcionality svojich náprotivkov v domácnosti, keďže pôvodné implementácie neboli dokončené alebo plne funkčné. Z tohto dôvodu bolo potrebné upraviť zariadenie brány, termostatu, farebného svetla, regulovateľného svetla, žalúzií a zvončeka.

V pôvodnej verzii implementácie aplikácie bolo možné spotrebiče, miestnosti a domácnosti len pridávať. V domácnosti môže nastať situácia, pri ktorej je potrebné niektorý spotrebič vymeniť za iný alebo, ak nie je potrebný, úplne odstrániť. Pôvodná aplikácia však s týmito situáciami nerátala a preto bolo potrebné zostaviť mechanizmus, ktorý by umožňoval takúto pokročilejšiu správu.

Bol navrhnutý mechanizmus, slúžiaci na prepínanie medzi dvomi režimami zobrazenia používateľského rozhrania. Prvý režim je štandardný režim alebo režim ovládania domácnosti, kedy nie je možné zariadenia, miestnosti alebo domácnosti pridávať, upravovať ani odstraňovať. V tomto režime je možné ovládať domácnosť bez zbytočných rušiacich prvkov používateľského rozhrania. Druhým režimom je režim úprav. V tomto režime sa na používateľskom rozhraní zobrazia tlačidlá pridávania nových zariadení, miestností a domácností, je možné vyvolať ponuku pre úpravu alebo odstránenie zariadenia, miestnosti alebo domácnosti. Aktívny režim úprav je možné vidieť na Obr. 2 v strede.

### C. Nový databázový model a panel obľúbených spotrebičov

V pôvodnom návrhu databázy bolo identifikačné číslo spotrebiča slúžiacie na identifikáciu pri komunikácii s radiacou jednotkou nevhodne použité ako identifikátor riadku v tabuľke so spotrebičmi a profilmi, teda ako primárny kľúč. Dôsledok bol taký, že v aplikácii do viacerých domácností nebolo možné pridať niekoľko spotrebičov rovnakého typu, ktoré majú rovnaké komunikačné identifikačné číslo, pretože po každom ďalšom pridaní takéhoto zariadenia bola vyhodnená výnimka knižnice SQLite hovoriaca o tom, že primárny kľúč, musí byť unikátny a nesmie sa opakovať, preto v databáze do tabuľky so spotrebičmi alebo profilmi nebol pridaný žiadny nový záznam. Pre odstránenie tohto problému bol do tabuľky so zariadeniami a profilmi pridaný nový stĺpec, ktorý slúži ako číselný identifikátor zariadenia v databáze. Do tabuľky so spotrebičmi a profilmi bol pridaný ešte ďalší nový stĺpec, ktorého úlohou je uchovávať údaj o tom, či je zariadenie momentálne označené ako obľúbené alebo nie. Používateľ si môže medzi obľúbené spotrebiče pridať ľubovoľný spotrebič z akejkoľvek domácnosti a ovládať ho priamo z hlavnej obrazovky aplikácie. Používateľ tak nemusí spotrebič, ktorý často používa hľadať medzi domácnosťami a miestnosťami a prechádzať cez viacero obrazoviek. Spotrebič je možné pridať k obľúbeným z kontextovej ponuky, ktorú je možné vyvolať pri aktívnom režime úprav. Obrazovku s panelom obľúbených spotrebičov je možné vidieť na Obr. 2 vpravo.

#### D. Import a export databázy

V jednej domácnosti býva spravidla viacero jej členov, z ktorých každý vlastní svoj vlastný mobilný telefón alebo tablet a na každom takomto zariadení beží nová inštancia aplikácie pre ovládanie tej istej domácnosti. Častokrát sa však stáva aj to, že jeden používateľ vystrieda niekoľko nových mobilných zariadení za krátke časové obdobie alebo len jednoducho vráti zariadenie do továrenských nastavení z dôvodu softvérovej chyby. Aby používateľ nemusel zakaždým znovu manuálne pridávať všetky miestnosti a spotrebiče do každej novej inštancie aplikácie bola implementovaná funkcionality importu nového databázového súboru do aplikácie a exportu aktuálneho súboru s databázou z aplikácie na externé úložisko zariadenia.

#### V. TESTOVANIE APLIKÁCIE

Funkcionality komunikácie aplikácie s riadiacou jednotkou bola overovaná na reálnej inteligentnej domácnosti nasadenej v bytovom dome. Jednalo sa o byt v meste Poprad, v ktorom bola uskutočnená prestavba a inštalácia potrebnej kabeláže. Pretože okrem káblov elektrickej siete bolo potrebné priviesť k jednotlivým spotrebičom aj dátové káble, pomocou ktorých riadiaca jednotka komunikuje so spotrebičmi.

Počas testovania sa overovala správnosť fungovania komunikácie niekoľkých dostupných spotrebičov v domácnosti. Testované boli napríklad: svetlo, regulovateľné svetlo, teplomer, meteorologická stanica, manuálny termostat s jednou hodnotou teploty a pod. Lokálna komunikácia prebiehala bez problémov a nové hodnoty na spotrebičoch boli nastavené okamžite. Vzdialená komunikácia prebiehala taktiež bez vážnejších problémov. V súčasnosti je systém inteligentnej domácnosti nainštalovaný vo viacerých reálnych budovách. Ide prevažne o domácnosti alebo firemné priestory.

Aktuálna verzia mobilnej aplikácie teda beží na niekoľkých mobilných zariadeniach a používa ju niekoľko skutočných používateľov. V každej takejto domácnosti je nainštalovaná riadiaca jednotka, s ktorou aplikácia komunikuje prostredníctvom smerovača zapojeného do internetovej siete. Riadiacu jednotku nainštalovanú v elektrickej rozvodovej skrini je možné vidieť na Obr. 3.



Obr. 3 Riadiaca jednotka v elektrickej rozvodovej skrini

#### VI. ZÁVER

Prostredníctvom mobilnej aplikácie môže používateľ pohodlne čítať hodnoty spotrebičov alebo ovládať spotrebiče vo svojej domácnosti, v ktorej má nainštalovaný systém inteligentnej domácnosti. Vďaka možnosti vzdialenej komunikácie je možné spotrebiče spravovať na diaľku z ľubovoľného miesta s prístupom na internet. To bolo aj jedným z hlavných cieľov aplikácie, pričom pôvodná aplikácia vzdialenou komunikáciou nedisponovala.

Používateľ môže pridávať, upravovať alebo odstraňovať domácnosti, miestnosti a spotrebiče prepnutím do režimu úprav, pomocou ktorého je možné schovať niektoré časti používateľského rozhrania nepotrebné pri ovládaní zariadení v inteligentnom dome. Aktuálny zoznam zariadení, ktoré je aplikácia schopná rozlíšiť a poskytnúť špecifické rozhranie ovládania je nasledovný: svetlo, regulovateľné svetlo, farebné svetlo, teplomer, manuálny alebo 24-hodnotový termostat, meteorologická stanica, žalúzie, brána, zvonček, hodiny a multifunkčné tlačidlo.

Zariadením termostatu je možné nie len manuálne zapnúť vykurovanie na diaľku, ale s 24-hodinovým teplotným profilom je možné nastaviť pre každú hodinu dňa rôznu vykurovaciu teplotu. Používateľ tak môže zapnúť vykurovanie až tesne pred príchodom domov a počas neprítomnosti vykurovanie úplne vypnúť, čo umožňuje výrazné šetrenie energií a teda aj nákladov.

Aktuálna verzia aplikácie je využívaná v reálnom prostredí niekoľkými skutočnými používateľmi. Z nefunkčnej aplikácie pripomínajúcej skôr prototyp bola vytvorená aplikácia, spĺňajúca všetky požiadavky na používateľské rozhranie potrebné na správu spotrebičov v inteligentnom dome.

Používateľské rozhranie bolo kompletne prepracované, aby bolo používateľsky prívetivejšie a zrozumiteľnejšie skutočnému používateľovi, ktorý nemusí byť za každých okolností technicky zdatná osoba.

#### POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie, pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií - II.fáza kód ITMS: 313011D232.

#### POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] J. Seigneur et al., *Towards Security Auto-Configuration for Smart Appliances*. Department of Computer Science, Trinity College, Dublin 2, Ireland, s. 1 – 4.
- [2] L. Jiakang et al., *The Smart Thermostat: Using Occupancy Sensors to Save Energy in Homes*. In: SenSys. 2010, č. 10, s. 211 – 223.
- [3] M. Chan et al., *Current features and future perspectives*, in *Maturitas*, č. 64, 2009, s. 90–97.
- [4] D. Ding et al., *Sensor technology for smart homes*. in *Maturitas*, č. 69, s. 131–136.
- [5] M. Hudec, *Inteligentné budovy s asistentom pre nevidiacich*, in *Acta Informatica Pragensia*, č. 5, 2016, s 4-17.
- [6] Z. Callejas – R. López-Cózar, *Designing Smart Home Interfaces for the Elderly*. Dep. Languages and Computer Systems, University of Granada, Spain, 2009, č. 95, s. 10 – 16.



# Influence of high current density on microstructure and resistance of solder joints

*Pavol CABÚK, Juraj ĎURIŠIN*

Department of Technologies in Electronics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Košice, Slovak Republic

pavol.cabuk@tuke.sk

**Abstract** — The aim of our work is to evaluate an influence of current load on microstructure and electrical resistance of solder joints. The solder joints formed on bare Cu printed circuit board pads were long-term loaded by large current density. The obtained results clearly show that the load method significantly affect microstructure and electrical resistance of the joints. The loads lead to a formation of extensive voids in the solder joints due to the effect of electromigration thus causing evident increase of their resistance.

**Keywords** — current density, electromigration, microstructure, solder joint

## I. INTRODUCTION

Today, the trend of components' miniaturization in electronics logically leads to miniaturization of dimensions of solder joints. The joints size reduction consequently results in large current densities [1]. The large current densities might fundamentally influence properties of the solder joints and in this way functionality of final electronic devices too. Therefore, scope of our work is to analyze an effect of large current density (electromigration) on behaviour of the solder joints.

Effect of electromigration is the transport of material. Principle of this effect lies in the gradual movement of the metal ions in a conductive material. The movement is caused by the momentum transfer between conducting electrons and diffusing metal atoms; the movement results in the ion to move from its original position. The effect is especially important in such applications where are used high direct current densities, e.g. in microelectronics. The analysis may be therefore useful in estimation of lifetime or proper functionality of electronic devices, which are exposed to challenging thermal or current conditions [2].

Electromigration leads to decrease of the chips' reliability. In the worst case scenario, the loss of connections or failure of a circuit can be observed. The first indications of the effect are intermittent glitches, which are very difficult to uncover. Today dimensions of interconnections are in the range of hundreds to tens of nanometers hence investigation of electromigration is very significant. Important is also the material of the metal interconnects, because it fundamentally affects the lifetime. Composition of the metal alloy and the dimensions of the conductor is also a critical issue [3]. In the case of a solder joint, failure caused by electromigration can be seen at the cathode side. The typical examples of applications with small solder joints are dies (with BGA packages) soldered on small printed circuit board (PCB) pads. Because the typical dimensions of solders balls used in attaching of BGA or PGA components are in the range of tens of  $\mu\text{m}$ , there is an assumption that a potential failure caused by large current density might occur. Understanding conditions and a mechanism of the failure can contribute in better prediction of unwanted effects in the solder joints.

## II. MATERIALS AND METHODS

In our experiments we employed PCBs, which include daisy chain testing pattern (Fig. 1). The solder joints ( $\sim 400 \mu\text{m}$  diameter) are arranged on the PCB (bare Cu) in such way, that it enables one to apply the 4-wire method for measuring the resistance. As a soldering material we used a solder paste containing widespread solder alloy 96.5Sn3Ag0.5Cu (wt. %). To perform the process of soldering, there was applied infra-red reflow soldering according to the recommended temperature reflow profile.

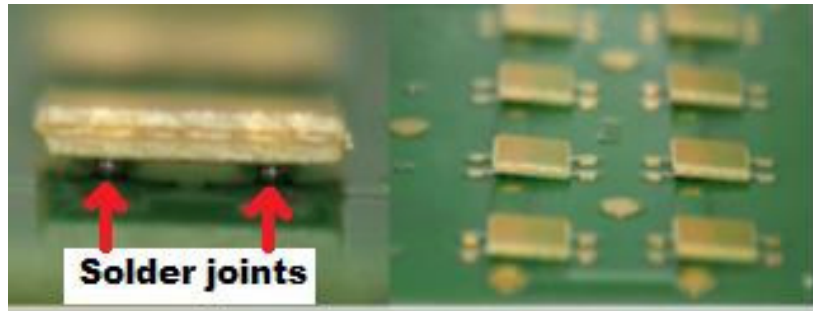


Fig. 1 A PCB with the test pattern.

Instead of the so-called zero resistors, to close the electronic circuit (i.e. testing pattern) we preferred as components thin quadratic pieces of the PCB, which contain 4 interconnected pads. The components (16 quadratic PCB pieces) after their placement and soldering thus form 4 solder joints.

Finally, the populated and soldered PCBs were aged by a large direct current of 8 A (current density  $\sim 6400 \text{ A.cm}^{-2}$ ). The time of the ageing was chosen to be 300 hours. In this way we could observe an effect of the ageing on microstructure and resistance of the solder joints.

### III. RESULTS AND DISCUSSION

According to our results, the joints loaded by large current show the voids become create inside joints microstructure. The next figure (Fig. 2) shows an as-soldered solder joint cross section. As it is evident, the joint exhibits presence of a thin intermetallic layer ( $\text{Cu}_3\text{Sn} + \text{Cu}_6\text{Sn}_5$ ); but what is more important, the bulk of the solder does not exhibit any voids.

### IV. HELPFUL HINTS

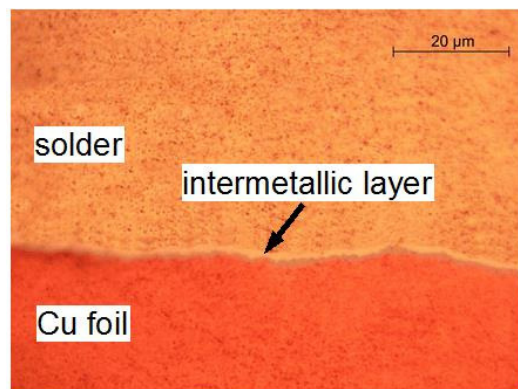


Fig. 2 Cross-section of an as-soldered joint.

After the ageing (100 hours), the joints (Fig. 3) show a formation of voids (thickness up to  $10 \mu\text{m}$ ) due to electromigration and a slight coarsening of the intermetallic layer ( $\text{Cu}_3\text{Sn} + \text{Cu}_6\text{Sn}_5$ ) between the solder alloy and the PCB bare Cu pad.

After 300 hours of ageing, the joints (Fig. 4) exhibit, contrary to the previous case, also a formation of a thick intermetallic layer ( $\text{Cu}_3\text{Sn} + \text{Cu}_6\text{Sn}_5$ , thickness up to  $20 \mu\text{m}$ ).

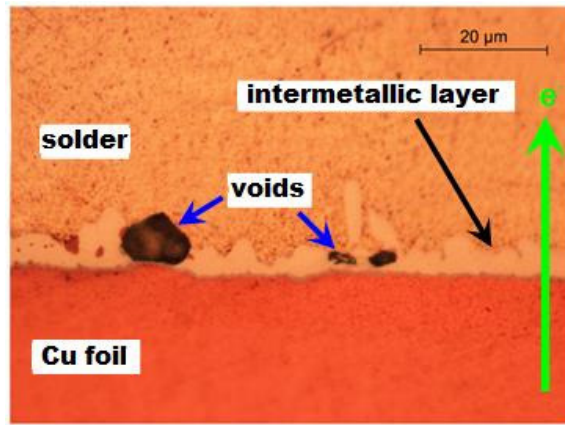


Fig. 3 Solder joint loaded by high current density for 100 hours. The green arrow marks the electron flow.

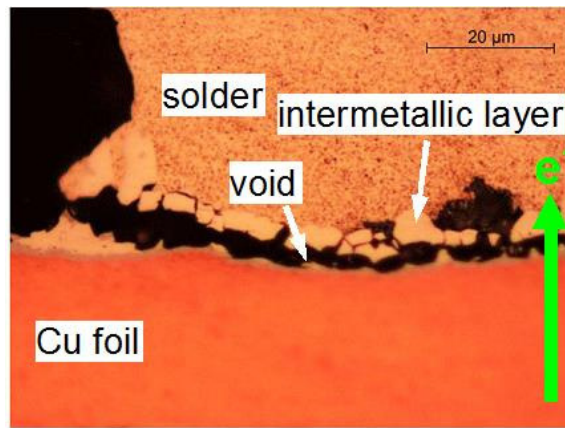


Fig. 4 Solder joint loaded by the high current density for 300 hours. The green arrow marks the electron flow.

Hence, the main visible difference between the 100 and 300 hours of high current density loading (ageing) is in the thickness of the intermetallic layer.

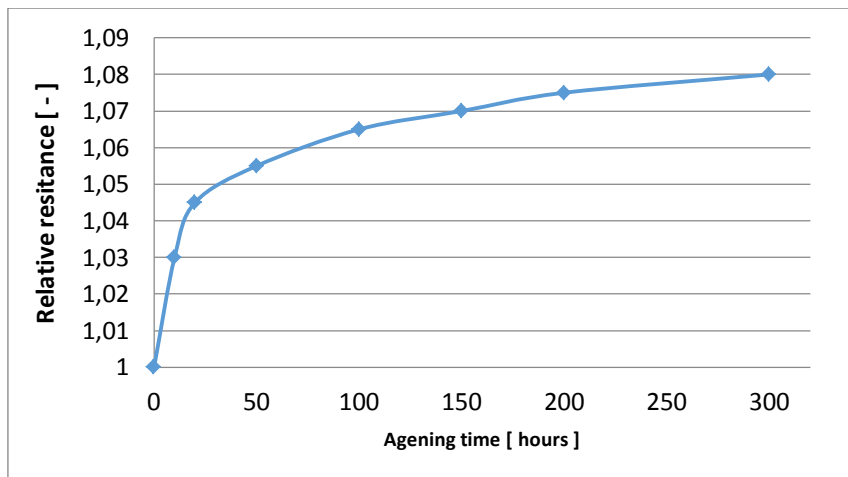


Fig. 5. Average relative electrical resistance  $R_h/R_0$  vs. time of the ageing. The full lines are guides for the eyes.

The thickness of the voids consequently affects the electrical resistance. It is an effect of the solder joints area reduction. The relative resistance was calculated as a ratio of the resistance at a specific time (between 0 and 300 hours) and the resistance at the beginning of the ageing (0 hours), i.e.  $R_h/R_0$ .

As it is obvious, the resistance increases mainly between 0-50 hours. Above 50 hours, the resistance increasing is moderate.

It is necessary to emphasize, that the voids are formed on that side of the solder joints, where conducting electrons enter the solder joints. Hence, the solder material is transported in direction of the electron flow.

#### V. CONCLUSIONS

It can be summarized, that the main deterioration effect comes from large current density causing electromigration. Therefore in practical applications one should pay a serious attention in a combination of large electric current densities and small dimensions of solder joints.

#### ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract No. APVV-14-0085: Development of New Generation Joints of Power Electronics Using Nonstandard Sn-Based Alloys.

#### REFERENCES

- [1] B. H. L. Chao, X. Zhang, S. H. Chae, H. P. Ho, "Recent advances on kinetic analysis of electromigration enhanced intermetallic growth and damage formation in Pb-free solder joints", *Microelectronics Reliability*, vol. 49, 2009, pp. 253-263.
- [2] R.L. De Orio, H. Ceric, S. Selberherr, "Physically based models of electromigration: From Black's equation to modern TCAD models", *Microelectronics Reliability*, vol 50, 2010, pp. 775-789.
- [3] J.Y. Choi, S.S. Lee, J.C. Joo, "Electromigration Behavior of Eutectic SnPb Solder", *School of Materials Science & Engineering (Seoul National University)*, 2002.

# MEMS IMU senzorové pole pre snímanie dynamiky pohybu

Slavomír KARDOŠ, Ján OLEJÁR

Katedra technológií v elektronike, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Technická univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

slavomir.kardos@tuke.sk

**Abstrakt** — Zameraním príspevku je snímanie chôdze použitím inerciálnych snímačov (IMU - Inertia Measurement Unit) na báze mikroelektromechanických štruktúr (MEMS - MicroElectroMechanical system). Tieto prvky umožňujú snímanie polohy a pohybu objektov v priestore, sú preto vhodné pre použitie v oblasti snímania dynamiky pohybu, samobalančných systémoch a v mnohých ďalších. Pre štúdium problematiky chôdze bolo použitím týchto jednotiek vytvorené senzorové pole pre snímanie dynamiky chôdze s možnosťou grafickej interpretácie dát v reálnom čase pod systémom LabVIEW/CVI. Analýza signálu snímačov je použiteľná na diagnostické účely v medicíne. Zber dát zo snímačov je riadený mikrokontrolérovým systémom, ktorý zároveň zabezpečuje presun k nadriadenému systému s grafickou aplikáciou.

**Kľúčové slová** — MEMS, IMU, snímanie chôdze, pohybová schéma, akcelerometer, gyroskop

## I. ÚVOD

Pohyb človeka je podmienený fyzikálnymi zákonmi a riadený mozgom, ktorý ovláda základné zložky pohybového systému. Korektné vyhodnocovanie ľudského pohybu vyžaduje komplexný prístup a znalosť z oblasti biomechaniky a biomedicíny. Uplatnenie nachádza v ortopédii, fyzikálnej terapii a v oblasti rehabilitácie, pričom umožňuje rozhodnúť, čím sú poruchy pohybu zapríčinené.

Kinematika pohybu sa zaoberá reprezentáciou pohybu v čase a v priestore, tzn. skúma časovo-priestorové veličiny, akými sú dráha, rýchlosť, zrýchlenie a uhly. Pri odhade polohy koncového bodu využíva goniometrické vzťahy platné pre jednotlivé segmenty uvažovaného kinematického reťazca. Dynamika pohybu sa zaoberá príčinami zmien pohybového stavu tela a jeho častí. Akákoľvek forma pohybu je uskutočňovaná prostredníctvom sily pôsobiacej na hmotné teleso, čo je opísané Newtonovými zákonmi pohybu. [1]

Pohyb človeka je spravidla výsledkom otáčavého pohybu jednotlivých kĺbových spojení segmentov ľudského tela. Uhol medzi dvoma uvažovanými segmentmi je vo všeobecnosti vyjadrený vzájomnou orientáciou segmentov. Chôdza je pravidelne sa opakujúci, cyklický pohyb tela dvojkrokovým spôsobom. Z fyzikálneho hľadiska je chôdza zmena rotačného pohybu jednotlivých kĺbov dolných končatín transformovaná na lineárny pohyb celého tela. Pri bežnej chôdzi zdravého jedinca je možné definovať opakované flexie a extenzie bedrového, kolenného a členkového kĺbu.

U človeka s postihnutím dolných končatín je možné pozorovať rôzne hodnoty uhlov flexie a extenzie ako v prípade zdravého jedinca. Adekvátnymi metódami analýzy chôdze môže byť podporená rehabilitácia pacientov s poruchami chôdze s následnou možnosťou sledovania liečebného postupu.

## II. MOŽNOSTI SNÍMANIA DYNAMIKY CHÔDZE

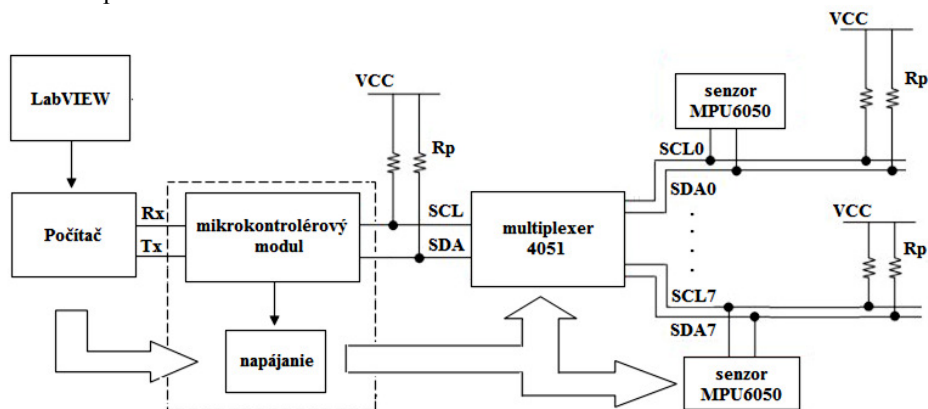
Snímanie pohybu (z angl. Motion Capture) je termín používaný pre opis procesu, v ktorom je zaregistrovaný pohyb objektu pomocou aktívneho systému a následne prenesený obvykle do digitálnej formy. Proces snímania pohybu zahŕňa meranie pozície, resp. polohy a orientácie objektu v priestore a z následného spracovania týchto parametrov. Výstupom sú pohybové dáta použiteľné v oblasti biomedicíny, armády, v rôznych odvetviach priemyslu, robotiky a spotrebnej elektroniky. Snímač ako kľúčový prvok systému predstavuje fyzikálny systém, ktorý citlivo reaguje na zmenu meranej fyzikálnej veličiny. Existuje rad metód, ktoré popisujú, resp. skúmajú reálny pohyb - mechanicky, magneticky, opticky a elektronicky. Snímaný signál

je použitý pri analýze pohybového aparátu človeka a je použiteľný aj pri riadení pohybu aktuátorov v rôznych systémoch, ako sú napríklad exoskelety.

Súčasný sofistikovaný systém zahŕňa elektronické inerciálne systémy pre snímanie akéhokoľvek druhu pohybu a sú využívané v spolupráci s inými systémami k docieľeniu komplexného monitorovania pohybu. Umožňuje merať prvky pohybovej schémy, zmeny uhlov kĺbových spojení a pod. v reálnom čase a na základe toho diagnostikovať poruchy prirodzenej chôdze spôsobené rôznymi faktormi. K snímaniu polohy a orientácie objektu používajú spravidla dva typy pohybových snímačov - akcelerometer a gyroskop. Akcelerometer je založený na detegovaní zmeny pohybovej rýchlosti, čím je následne meraná a určená poloha telesa, resp. danej časti tela človeka. Gyroskop je zariadenie, ktoré deteguje zmenu uhlovej rýchlosti, čím je zisťovaná rotácia snímaného telesa. Keďže tieto senzory merajú iba v jednom smere, pre presné určenie polohy telesa v trojrozmernom priestore je potrebné uvážiť aplikáciu najmenej troch akcelerometrov a gyroskopov. Tie sú v súčasnosti vyrábané na báze MEMS technológie (Micro-Electro-Mechanical-System), prostredníctvom ktorej sú integrované mechanické prvky - mikrosnímače, mikroaktuátory s mikroelektronickými obvodmi pre vyhodnotenie meraných parametrov zo snímačov. [2][3][4]

### III. SYSTÉM PRE SNÍMANIE PARAMETROV CHÔDZE

Pre účely snímania parametrov chôdze bol navrhnutý systém, ktorý pozostáva zo snímacej, riadiacej a vyhodnocovacej časti (Obr. 1). Snímacia časť je tvorená siedmimi snímacími modulmi na báze inerciálnych MEMS snímačov MPU-6050 [5], určenými pre umiestnenie na segmentoch tela človeka. Aktuálne hodnoty zrýchlenia a uhly natočenia smerujú prostredníctvom I<sup>2</sup>C zbernice [7] do mikrokontrolérového modulu na báze AVR ATmega328P [6], určeného pre riadenie toku dát a komunikáciu.



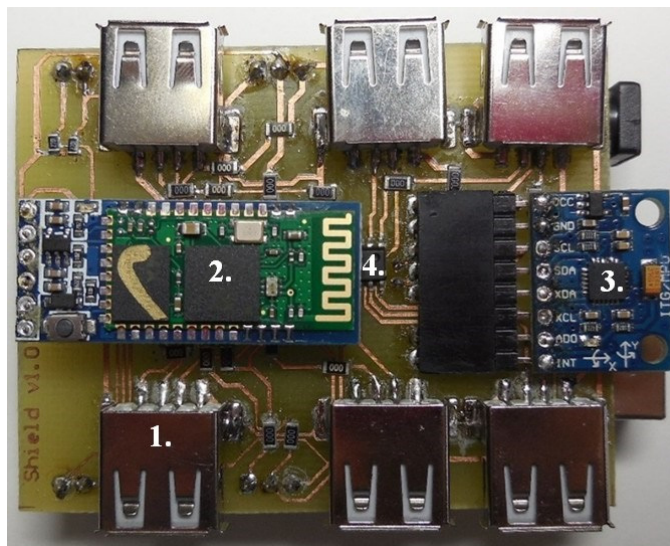
Obr. 1 Bloková schéma elektronického systému pre snímanie parametrov chôdze.

Štruktúra programu riadenia zahŕňa nastavenie komunikačných protokolov, inicializáciu modulov s inerciálnymi snímačmi MPU-6050, zber dát prostredníctvom multiplexovania I<sup>2</sup>C komunikačnej zbernice, ich matematické spracovanie do podoby zložiek zrýchlení a uhlových rýchlostí a odoslanie do aplikácie pod systémom LabVIEW pre grafickú interpretáciu a spracovanie.

Zostavu elektronického systému zabezpečuje zásuvný modul, slúžiaci zároveň ako prepojovacia štruktúra s rozhraniami pre jednotlivé periférie (Obr. 2). Z dôvodu absencie adresovateľnosti viacerých ako dvoch senzorových modulov bolo nevyhnutné multiplexovať I<sup>2</sup>C zbernicu multiplexerom CD4051B. Programovateľné kanály sú pripojené na príslušných digitálnych portoch definovaných v užívateľskom programe. Napájanie je zabezpečované prostredníctvom USB konektora mikrokontrolérového modulu.

Chôdza človeka je sprevádzaná predovšetkým pohybom dolných končatín dvojkrokovým cyklom. Štúdie zaoberajúce sa v predmetnej oblasti sa zhodujú umiestňovaním snímacích modulov v oblasti hrudníka, stehennej, holennej kosti a často v oblasti chodidla. [8] Snímacie moduly je možné priamo alebo laterálne umiestniť vo vhodnej vzdialenosti od príslušných kĺbov dolných končatín. V aplikácii sú k telu uchytené flexibilným popruhom a fixované upínacím patentom (Obr. 3).

Pred každým uskutočneným meraním je každý snímací modul vopred softvérovo nakalibrovaný a umiestnený v oblasti dolných končatín na tele človeka.



Obr. 2 Zásuvný modul systému pre zber dát z IMU snímacích modulov - 1. USB konektory typu A vo vyhotovení F, 2. Bluetooth modul HC-05, 3. snímací modul GY-521, 4. CMOS multiplexery (umiestnené pod Bluetooth modulom).



Obr. 3 Umiestnenie prvkov systému pre snímanie a zber dát zo snímacích modulov GY-521 s MEMS IMU MPU-6050 na segmentoch dolných končatín.

Prostredníctvom hodnôt zrýchlení je vypočítavaný uhol náklonu  $\Phi$ , sklonu  $\rho$  a natáčania  $\theta$  získaný goniometrickým matematickým odvodením

$$\Phi = \arctan\left(\frac{a_x}{\sqrt{a_y^2 + a_z^2}}\right), \quad \rho = \arctan\left(\frac{a_y}{\sqrt{a_x^2 + a_z^2}}\right), \quad \theta = \arctan\left(\frac{\sqrt{a_x^2 + a_y^2}}{a_z}\right) \quad (1)$$

Natáčaním sensorového modulu okolo súradnicových osí je mikrokontrolérom generovaný súbor hodnôt z gyroskopu ( $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ ) v podobe uhlových rýchlostí. Integráciou podľa času  $dt$  sú zložky uhlových rýchlostí pretransformované do uhlovej podoby, takže výsledkom je uhlová dráha  $\varphi$ , kde  $dt$  predstavuje časový interval medzi dvoma hodnotami uhlovej rýchlosti [8]:

$$\varphi_x = \int_{t_1}^{t_2} \omega_x(t) dt, \quad \varphi_y = \int_{t_1}^{t_2} \omega_y(t) dt, \quad \varphi_z = \int_{t_1}^{t_2} \omega_z(t) dt \quad (2)$$

#### IV. SPRACOVANIE DÁT A ICH GRAFICKÁ INTERPRETÁCIA

Pre spracovanie, analýzu a vyhodnocovanie pohybových dát sensorového systému bol použitý systém LabVIEW/CVI v. 15, ktorý poskytuje množstvo prostriedkov pre realizáciu projektov a taktiež aj silnú užívateľskú podporu v podobe komunit. [9][10]

Prijímané dáta sú sústredené do bloku Index Array, z ktorého sú cez parameter index vyberané žiadané prvky poľa. Predspracovanie zozbieraných dát zo senzora zahŕňa filtráciu za účelom odstránenia statickej zložky zrýchlenia a eliminácie vyšších frekvenčných zložiek predstavujúcich šum a neúčinné zložky generované organizmom. Statická zložka zrýchlenia predstavuje ofset daný gravitačným poľom Zeme, kým šum predstavuje prídavnú zložku

signálu generovanú samotným snímacím zariadením alebo inými externými zdrojmi, interferujúc s meraným signálom.

V reťazci je ako prvý použitý hornopriepustný filter typu Butterworth 2. rádu s frekvenciou zlomu (cut-off frequency) v oblasti 0,2 Hz pri voliteľnej vzorkovacej frekvencii. Táto frekvencia zlomu bola zvolená pre elimináciu vplyvu statického zrýchlenia. Ďalšou filtráciou použitím dolnopriepustného Butterworthovho filtra pri uvažovanom frekvenčnom zlome 3 Hz a pri rovnakej vzorkovacej frekvencii je docieľená separácia šumovej zložky a ďalších nežiaducich zložiek od užitočného signálu (dynamické zrýchlenie). [11]

Na základe vzájomnej korelácie nameraných dát a dát na základe štúdií v predmetnej oblasti je možné v oblasti ortopédie a rehabilitácie diagnostikovať poruchy pohybového aparátu dolných končatín, o akú formu ochorenia sa jedná, prípadne k akému druhu ochorenia osoba inklinuje, s cieľom poskytnutia vhodného liečebného postupu, resp. eliminácie týchto nedostatkov. [12]

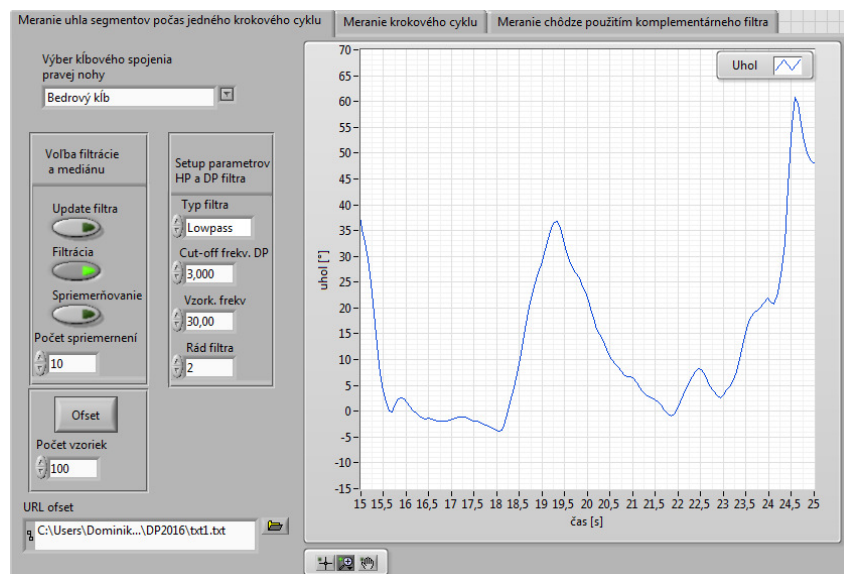
#### A. Meranie uhla segmentov kĺbového spojenia

Určenie relatívneho uhla kĺbového spojenia je možné dvojicou akcelerometrov umiestnených vertikálne v jednej línii po dvoch segmentoch tela, ktoré počas náklonu vykazujú smerové vektory. Vhodný je algoritmus vektorovej algebry aplikáciou kosínusovej vety. Z dvojice vektorov  $a$  a  $b$ , charakterizujúcich statické zložky zrýchlenia je relatívny uhol daného kĺbového spojenia:

$$a \cdot b = \begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{pmatrix} = |a||b|\cos\alpha \Rightarrow \cos\alpha = \frac{a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z}{\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \sqrt{b_x^2 + b_y^2 + b_z^2}} \quad (3)$$

kde  $a \cdot b$  predstavuje skalárny súčin dvoch vektorov s absolútnou dĺžkou  $|a||b|$ . [2]

Vo vytvorenej aplikácii v prostredí systému LabVIEW je možnosť výberu snímaného kĺbového spojenia dolnej končatiny cez výsuvné menu (Obr. 4).

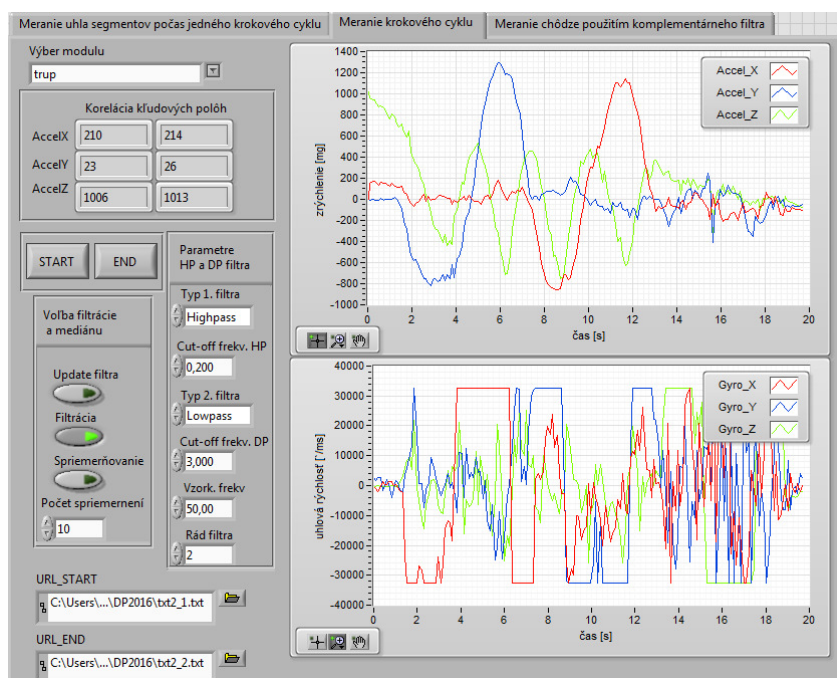


Obr. 4 Grafické rozhranie pre meranie uhla segmentov kĺbového spojenia v prostredí systému LabVIEW/CVI.

#### B. Meranie krokového cyklu na základe akcelerometrických a gyroskopických zložiek

V meraní je snímaný pohybový profil a korelácia východiskovej konečnej polohy pre potreby posúdenia pohybových zmien počas dlhodobej chôdze. Meraním dynamických zložiek zo snímacích modulov počas jedného krokového cyklu je možné porovnať parametre dynamiky chôdze jednotlivých kĺbových spojení, čo môže poskytnúť informácie o poruchách chôdze. V tejto funkcionalite je možnosť výberu aktuálneho snímacieho modulu s možnosťou aktívnej filtrácie snímaných dát (Obr. 5).





Obr. 5 Grafické rozhranie určené pre meranie dynamických zložiek snímacích modulov počas krokového cyklu v prostredí systému LabVIEW/IVI.

## V. ZÁVER

Vzhľadom na dostupné hardvérové možnosti záujem o analýzu pohybu v poslednom desaťročí významne stúpol, čo je vo veľkej miere stimulované vývojom senzorových systémov. Pohyb v podobe chôdze je súčasťou každodenného života a jeho analýzou je možné získať relevantné poznatky o aktuálnom stave pohybového aparátu človeka, správne stanoviť diagnózu, ale taktiež umožňuje zefektívniť proces rehabilitácie po úraze, či chorobe.

Realizovaný bol merací systém na báze inerciálnych MEMS snímačov MPU6050, ktorý prostredníctvom riadiaceho mikrokontroléra umožňuje zosnímať statické a dynamické parametre a profily aktivít pohybového aparátu dolných končatín počas chôdze a v reálnom čase ich interpretovať v prostredí aplikácie pod systémom LabVIEW/IVI, slúžiacom ako konfigurovateľné grafické rozhranie s možnosťou merania uhla segmentov kĺbového systému, meranie dynamických zložiek krokového cyklu a počas dlhodobej chôdze. Analýza snímaných dát umožňuje vyhodnotenie pohybovej schémy, lepšie pochopenie dynamických javov spojených s chôdzou, ako aj diagnostiku porúch chôdze. (VEGA No. 1/0074/15)

## REFERENCES

- [1] Hay et al.: Gait Analysis and Angular Kinematics. SFU CA, 2008, <<http://www.sfu.ca/~leyland/Kin201%20Files/4%20Gait%20&%20Angular%20Kinematics.pptx.pdf>>
- [2] Pedley, Mark: Tilt Sensing Using a Three-Axis Accelerometer. Rev. 6, 03/2013, <[https://cache.freescale.com/files/sensors/doc/app\\_note/AN3461.pdf](https://cache.freescale.com/files/sensors/doc/app_note/AN3461.pdf)>
- [3] Husák, Miroslav: MEMS a mikrosystémové technológie. <http://automa.cz/res/pdf/38122.pdf>
- [4] PRIME Faraday Technology: An Introduction to MEMS (Micro-electromechanical Systems). 2012. ISBN 1-84402-020-7. <[http://www.lboro.ac.uk/microsites/mechman/research/ipm-ktn/pdf/Technology\\_review/an-introduction-to-mems.pdf](http://www.lboro.ac.uk/microsites/mechman/research/ipm-ktn/pdf/Technology_review/an-introduction-to-mems.pdf)>
- [5] InvenSense: MPU6050 datasheet, rev. 4.0. <<http://www.datasheetpdf.com/PDF/MPU6050/735134/7/>>
- [6] Atmel, 2015: Atmel 8-bit microcontroller with 4/8/16/32kB in-system programmable flash. <<http://www.atmel.com>>
- [7] Rowberg, Jeff: I2C device library collection. GitHub, 2016. <<https://github.com/jrowberg/>>
- [8] Seel – Raisch – Schauer: IMU-Based Joint Angle Measurement for Gait Analysis. Sensors, 2014, 14(4), pp. 6891-6909 <<http://www.mdpi.com/1424-8220/14/4/6891/htm>>
- [9] Karhe – Patil – Patil: Real Time Data Acquisition and Home Parameters Monitoring using LabVIEW. ISSN: 2278 – 1323. <<http://ijaracet.org/wp-content/uploads/IJARCET-VOL-2-ISSUE-3-979-983.pdf>>
- [10] National Instruments: LabVIEW System Design Software. 2016. <<http://www.ni.com/labview/>>
- [11] Bogert, Ton: Practical guide to data smoothing and filtering. ISB Web, 2006. <<https://isbweb.org/software/sigproc/bogert/filter.pdf>>
- [12] Kwakkel, Sidney: Foot and Ankle Kinematics During Gait. Using Foot Mounted Inertial Sensors. Thesis. University of Calgary, 2007. <[http://plan.geomatics.ucalgary.ca/papers/BMEN500Thesis\\_Kwakkel\\_Apr07\\_Final.pdf](http://plan.geomatics.ucalgary.ca/papers/BMEN500Thesis_Kwakkel_Apr07_Final.pdf)>

# Remote Usability Testing in the Liferay Portal Environment

<sup>1</sup>Michaela BAČÍKOVÁ, <sup>2</sup>Dávid MATEJKOV

<sup>1,2</sup>Department of computers and informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics Technical University of Košice, Slovak Republic

{<sup>1</sup>michaela.bacikova@, <sup>2</sup>david.matejkov@student}tuke.sk

**Abstract** – Using the Liferay portal, we can create web pages, portals and intra-nets. Improving the usability of its websites can be achieved by performing remote usability tests. The goal of this paper is to support remote usability testing in Liferay. To our knowledge there is no tool or plugin integrated in Liferay that would natively support remote usability testing. In the analysis, we focused on what types of data it is necessary to analyse for remote usability testing, existing features and applications of Liferay portal and general solutions and their potential to be used for usability testing. Our tool for usability testing was implemented according to OSGi modular standards. The tool records task time, count of clicks performed on task, details of clicks and questionnaire answers. After participants finish all tasks, test administrator can check results using statistical application and application for displaying participant's clicks directly on test site. The tool was demonstrated by performing a usability test of website. The main contribution of this paper is the analysis of usability testing in Liferay portal and the method of analysis that can be used also outside of Liferay.

**Keywords** – usability, remote usability testing, Liferay

## I. INTRODUCTION

Usability testing is an essential part of software development, since it ensures the viability of the developed solution. According to HCI, software should be developed iteratively by prototyping and intensively tested for usability in each iteration.

To get the best results from the users, standard usability tests are performed in present form, where the user is located in a usability lab and the tester can ask questions during the user performing the scenario. This kind of presence testing gives high quality results focused on concrete issues and their reasons.

However, such approaches are not always possible. Let us say that our users are located in China. It is very ineffective to travel to our users' location every time a new prototype is launched and perform a presence user testing. In these cases, remote user testing is more common because of its lower time and money requirements. The results of this type of testing are not as relevant as in presence testing, but compared to the costs it is a good ratio price versus results.

When performing remote usability testing, the following usability data are usually collected:

1) *Relation between eye movement and mouse movement*: When conducting remote usability tests according to Torres and Hernanda [3] it is necessary to see, on which parts of user interface the participant looked during the test. Devices, that can detect and record the movement of the eye are expensive. According to the study of Chen and Pan [4], [5] we can say that eye movements and mouse movements are largely correlate. Thus, the recording of the mouse movement can also produce good results.

2) *Click event*: Successful completion of individual tasks during the test, according to the research of Tullis and Albert [2] can also depend on correct first click. Results showed that 87 percent of people who clicked first time correctly, completed task successfully. After the incorrectly located first click, only 46 percent of people completed task. According to Sauro's study [6], we should record how long it takes to perform first click on a certain task. A very long time can indicate a lot of complexity of the user interface.

We can also get important data by counting clicks made while performing the task. We can easily compare these data. Zeldman [7] in his book says that the user should find information he needs on the page by doing just three clicks. Porter [8] checked the three click rule, analyzing experiment data, where 44 users performed 620 tasks. He found that likelihood of unsuccessful completion of the task after 3 clicks is the same as after 12 clicks. He also says that users do not mind the higher number of clicks when they complete the task successfully.

3) *Satisfaction*: Standard ISO/DIS 9241-11.2 notes that we should take into account the user's satisfaction when evaluating usability of applications. Satisfaction can be measured in form of questionnaires [9]. Example of such a satisfaction questionnaire is on Figure 1.

On a 1–7 scale, how satisfied were you with using this website?

1    2    3    4    5    6    7

Fig. 1 Participant's satisfaction questionnaire [9]

Using this one question, we can see how satisfied were participants with using the test site. Participant selects a number from the scale 1-7 where 1 represents little satisfaction and 7 represents high satisfaction.

4) *System Usability Scale – SUS*: Next method for measuring usability is SUS – System Usability Scale [10]. This method uses a questionnaire with 10 statements. At every statement participant chooses a number from the scale of 1-5 where 1 represents a total disagreement with the statement and number 5 a total agreement. Statements are divided to 5 positive and 5 negative statements, that change change alternately. Example of the SUS method questionnaire is on Figure 2.

	Strongly Disagree				Strongly Agree
1. I think that I would like to use this product frequently.	1	2	3	4	5
2. I found the product unnecessarily complex.	1	2	3	4	5
3. I thought the product was easy to use.	1	2	3	4	5
4. I think that I would need the support of a technical person to be able to use this product.	1	2	3	4	5
5. I found the various functions in the product were well integrated.	1	2	3	4	5
6. I thought there was too much inconsistency in this product.	1	2	3	4	5
7. I imagine that most people would learn to use this product very quickly.	1	2	3	4	5
8. I found the product very awkward to use.	1	2	3	4	5
9. I felt very confident using the product.	1	2	3	4	5
10. I needed to learn a lot of things before I could get going with this product.	1	2	3	4	5

Fig. 2 SUS method questionnaire [10]

There is a recommendation to give participants the SUS questionnaire immediately after the test is complete. Nielsen [9] says that the survey given to the participant should be very short.

5) *Participant categorization*: Different groups of site visitors may behave differently on the site, e.g. Sonderegger, Schmutz and Sauer [11] found in their work that among the young and old users are differences in the speed and accuracy of performing tasks. For example the website designed primarily for older people should be tested mainly by the older participants. By participant categorization we can track differences between different categories.

In our previous study [12], we found that every participant of usability test of mobile application for storing notes, which did not use mobile devices before, did not know all the ways of controlling mobile devices. They did not know gesture of the long press. They were not able to complete these tasks successfully. So when testing usability, we should also consider abilities of participants.

6) *Time*: Measuring the time needed for the participant to complete the task is part of the usability standard ISO/DIS 9241-11.2, where the effectiveness of the given task is determined. The longer the participant spends on completing one task, the less tasks he can complete at all. The time that the participant spends by performing the task can be counted by subtracting start time from end time.

Misfud [13] says, that we should measure the time of successfully finished tasks, however, we argue that the time of unsuccessful tasks is also important.

#### A. Liferay portal features for usability testing

We analysed the following existing applications and features of Liferay for remote testing.

1) *Liferay IFrame*: Liferay IFrame allows to embed external web applications on any Liferay portal page. In the configuration section we can specify the URL of the external application. Liferay IFrame extends the HTML iFrame technology. Liferay IFrame offers features like automatic login to the page that is displayed. If the page of the same domain is displayed, there is an option for automatic window size setting, based on the displayed content.

The important feature of browsing the web sites is browser back button. We found while testing the Liferay IFrame application that this button can not be comfortably used, because Liferay IFrame application modifies URL addresses in the web browser, which makes it necessary to press browser back button multiple times.

2) *Web Proxy*: Liferay Portal offers Web Proxy application that allows to embed external web applications directly to Liferay portal and log activity with proxy server. It uses HTML IFrame technology. URL address, the host and the port of proxy server that will work with Web Proxy application can be set in the configuration section. Web Proxy application should modify the URLs of embedded site to make external URLs which should be opened on new tab open on the same tab. So browsing is done on one tab, which is necessary for our case scenario.

We tried Web proxy in Liferay 7 and 6.2, but we met with issues. After configuration the specified website was not displayed and the portlet and ended with an exception. In this paper, we focused only on new versions of Liferay, since we assume that they are used more.

3) *Monitoring*: In the Liferay Portal, the administrator can monitor active sessions in control panel of logged users. Each user session consists of two groups of data:

- **Session details** – Session ID, User details, number of clicks, browser details and IP address.
- **Accessed URLs** – clicked URL address, Page Layout ID and time of click. Not all records have URL and Page Layout Id specified. Click events that do not lead to URL address change, but just get some data from the server are marked as `/portal/session_click`.

Monitoring is not allowed as default in production, because it is a load to performance. It can be enabled in the configuration file `portal-ext.properties`. The file has to be created in home folder of Liferay portal and configuration variable `live.users.enabled=true` has to be specified. We can store session log data to database specifying variable `session.tracker.persistence.enabled=true`. The data are stored in database tables `usertrackerpath` and `usertracker`.

#### B. Other technologies for usability testing

We analysed more general technologies such as HTML IFrame, JavaFX, native Android apps for Liferay, Proxy, WebRTC, Web browser extensions and plane JavaScript for their potential to use for remote usability testing of websites in Liferay portal.

HTML IFrame is good for displaying external sites on our site. Advantage is that we do not have to modify the code of tested site. But there is a same-origin policy which prohibits access to site displayed in HTML IFrame with JavaScript from other origin to prohibit execution of dangerous code [14].

Technologies JavaFX and native Android apps offer component `WebView`, which can be used for displaying external websites. It works similar to HTML IFrame technology, but we can access DOM object of all sites here. With HTML IFrame we can access DOM object only of the same-origin sites.

We found out that we can get more valuable usability data from client side than from server side. The same say Nebeling, Speicher and Moira [15]. The main reason is that on server side we are not able to record data like mouse moves, scrolls or keyboard writing. On server side we are able to record only some mouse clicks (not all) and submitted forms.

## II. IMPLEMENTATION

The use case in the tool is as follows. Test administrator creates a page s/he wants to test for usability. Next s/he creates a scenario of tasks, that the test participants are to perform. After that s/he sends the test URL to participants. When a participant navigates to the test page, a guide window in the bottom left corner displays the current task. This participant guide window is on Figure 3.

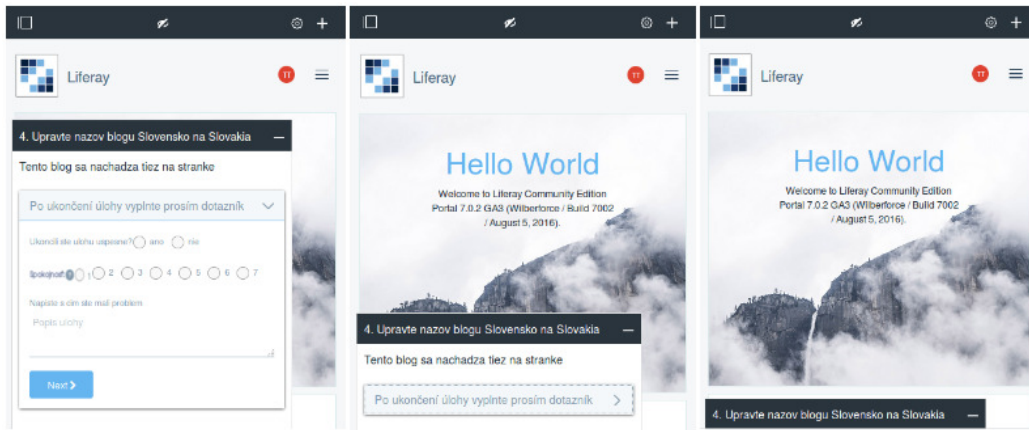


Fig. 3 Participant guide window states

When task is done, participant fills in the questionnaire consisting of three parts: successful execution of the particular task (yes/no), satisfaction (in scale 1-7) and a text message to describe any problems with the task

After completing the questionnaire, participant moves to the next task. While performing tasks, number of clicks, task times, click details, and questionnaire data are recorded. Click details are recorded using JavaScript by setting event listener on window object. After each click, details are sent to the server asynchronously and stored to database. Details consist of:

- **element id** – if attribute `id` is not defined, the tool finds a closest parent element with `id` defined.
- **element type** – `img`, `span`, `div` etc.
- **element href** – if the clicked element or parent element is type `a`, `href` attribute is sent.

After the participant finishes the test, the test manager can retrieve the data using two applications. The first shows the statistical results of the test (Fig. 4) and the second renders clicks directly on the page (Fig. 5).

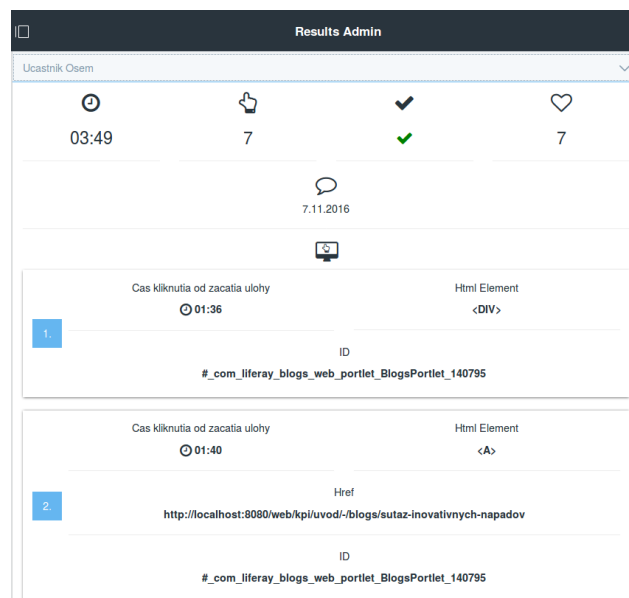


Fig. 4 Statistical test results application

Click events are displayed on the website as green circles with number in the middle representing the click order.

The tool was implemented according to development guidelines for Liferay Portal. The tool consists of 5 modular OSGi applications. For implementing applications that interact with users, Liferay MVC portlet technology was used. The Liferay MVC portlet technology uses JSP (Java Server Pages) technology for creating user interface components. Database entities were created

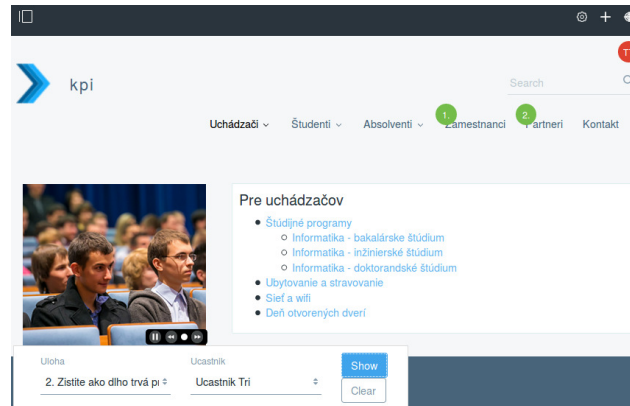


Fig. 5 Displaying clicks on test site application

with the Liferay Service Builder framework.0 For recording and displaying participant's clicks pure JavaScript and JavaScript libraries jQuery and AUI were used.

### III. RELATED WORK

We analysed some existing tools for usability testing. First tool WebQuilt is based on proxy and Java Servlet technologies. Hong, Heer, Waterson and Landay [16] say that this tool uses proxy based URL address approach. Websites can be tested without source code modification. According to Obendorf, Weinreich and Hass study, disadvantage of proxy based solution is that it is not able to record click events on HTML links placed in flash applications and in other multimedia objects. It is not able to record scrolls and mouse moves. Waterson, Landay and Matthews [17] say that WebQuilt do not record anything if website is not fully loaded. Our tool compared to Webquilt is based on recording clicked element ids and WebQuilt is based on recording clicked URL links. So these tools are similar. Both tools do not record mouse moves or keyboard input.

Next tool is Web Usability Probe. Carta, Paterno and De Santana [18] used proxy server for recording user activity with JavaScript language. Scripts are placed on proxy server and are added on the site while the site is passing through proxy server. Same origin policy is not violated because client is accessing the site coming from proxy server. With this tool we can test external sites. The tool record almost all possible client side events the user can make. Results are visualised as time lines. Carta, Paterno and De Santana [18] say that HTML elements are recorded based on their ids, which is similar to our tool. If ids are not specified, Web Usability Probe generates ids based on XPath of DOM Tree.

Next tool is web browser extension Uzilla. This tool has task scenario administration which is similar to our tool. The main advantage of this tool is as Edmonds [19] says in his work, that it can record browser events. For example clicking on browser back button or changing URL address in browser URL panel. Browser events can be recorded only with browser extensions.

Next tool is (smt) simple mouse tracking. Torres and Hernando [3] say that this tool records mouse movement coordinates with JavaScript and processes data on server side with PHP. This recorded mouse activity can be replayed later. Tool can display recorded mouse moves, clicks, drags and starting, ending position.

### IV. DEMONSTRATION AND USABILITY TESTING

At the end we experimentally verified the developed tool by conducting usability test of some Liferay portal website. There were 6 test administrators and 9 test participants. The test consisted of 6 tasks.

#### A. Test participants results

Test participants had problems with understanding of how questionnaire works. At least five participants had issues using the questionnaire's collapsible window.

Most of the participants did not properly describe the problem they had while performing the task, because sometimes they had to write answer on the task to the same text area as for describing task problem. They did not keep up the question order in questionnaire. Because of not keeping up the questionnaire order or not clicking on success question, the time is not measured properly. Questions in questionnaire were not marked as required so many times happened that participants didn't answer all questions.

Some participants asked how would they know if they successfully finished the task. Some participants didn't know that question about satisfaction is about satisfaction with performing the task or satisfaction with using our usability testing tool. Next problem was with not clearly stated tasks and more participants said that the text in questionnaire window is not very visible.

We adjusted the tool to solve all mentioned problems and we plan to perform more user testing iterations with the tool in the future.

### B. Test administrators

All test administrators used our tool for usability testing successfully. They displayed statistical results and watched highlighted clicks directly on site. Test administrators were missing the most that they could not replay mouse moves of participants and display texts written to inputs, for example search. They marked measuring time, number of clicks and displaying highlighted clicks directly on test page as the most useful features of our testing tool. In the future they would like to review the video recording of participant screen and mouse moves.

## V. CONCLUSION

In this paper we presented a novel tool for remote usability testing in Liferay. We demonstrated the tool with users and test administrators. The testing showed multiple usability issues, however, reactions of test administrators showed that the tool can be successfully used to collect and interpret remote testing data.

## ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by KEGA Grant No. 047TUKE-4/2016 Integrating software processes into the teaching of programming.

## REFERENCES

- [1] M. F. Bertoa and A. Vallecillo, "Usability metrics for software components," 2004.
- [2] T. Tullis and W. Albert, *Measuring the User Experience: Collecting, Analyzing, and Presenting Usability Metrics*. Elsevier Inc, March 2008.
- [3] L. A. L. Torres and R. V. Hernando, "(smt) Real Time Mouse Tracking Registration and Visualization Tool for Usability Evaluation on Websites," 2007.
- [4] M. Chen, J. Anderson, and M. Sohn, "What Can a Mouse Cursor Tell Us More? Correlation of Eye/mouse Movements on Web Browsing," *ACM Press*, 2001.
- [5] B. Pan, H. Hembrooke, G. Gay, L. Granka, M. Feusner, and J. Newman, "The Determinants of Web Page Viewing Behavior: An Eye Tracking Study," *Proc. ETRA*, 2004.
- [6] J. SAURO, "Getting the first click right," October 2011, [Online; posted 19-October-2011]. [Online]. Available: <http://www.measuringu.com/blog/first-click.php>
- [7] J. Zeldman, *Taking Your Talent to the Web: Making the Transition from Graphic Design to Web Design*. 201 West 103rd Street, Indianapolis, Indiana 46290: New Riders, May 2001.
- [8] J. Porter, "Testing the three-click rule," April 2003, [Online; posted 16-April-2003]. [Online]. Available: [https://articles.uie.com/three\\_click\\_rule/](https://articles.uie.com/three_click_rule/)
- [9] J. Nielsen, "User satisfaction vs. performance metrics," October 2012, [Online; posted 8-October-2012]. [Online]. Available: <https://www.nngroup.com/articles/satisfaction-vs-performance-metrics/>
- [10] A. Bangor, P. Kortum, and J. Miller, "Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale," *JUS JOURNAL OF USABILITY STUDIES*, vol. 4, pp. 114–123, May 2009.
- [11] A. Sonderegger, S. Schmutz, and J. Sauer, "The influence of age in usability testing," *Applied Ergonomics*, pp. 291–300, 2015.
- [12] D. Matejkov, "Mobile usability testing automation," 2015.
- [13] J. Mifsud, "Usability metrics a guide to quantify the usability of any system," June 2015, [Online; posted 22-June-2015]. [Online]. Available: <http://usabilitygeek.com/usability-metrics-a-guide-to-quantify-system-usability/>
- [14] C. Karlof, J. Tygar, D. Wagner, and U. Shankar, "Dynamic Pharming Attacks and Locked Same-origin Policies for Web Browsers," *Proceedings of the Fourteenth ACM Conference on Computer and Communications Security*, pp. 58–71, November 2007.
- [15] M. Nebeling, M. Speicher, and C. N. Moira, "CrowdStudy: General Toolkit for Crowdsourced Evaluation of Web Interfaces," *EICS 13*, pp. 255–264, June 2013.
- [16] J. Hong, J. Heer, S. Waterson, and J. A. Landay, "WebQuilt: A Proxy-based Approach to Remote Web Usability Testing," *ACM Transactions on Information Systems*, vol. 19, pp. 263–285, July 2001.
- [17] S. Waterson, J. Landay, and T. Matthews, "In the Lab and Out in the Wild: Remote Web Usability Testing for Mobile Devices," *CHI 2002*, 2002.
- [18] T. Carta, F. Paterno, and V. D. Santana, "Web Usability Probe: A Tool for Supporting Remote Usability Evaluation of Web Sites," *P. Campos et al. (Eds.): INTERACT, IFIP International Federation for Information Processing*, pp. 349–357, 2011.
- [19] A. Edmonds, "Uzilla: A new tool for Web usability testing," *Behavior Research Methods, Instruments & Computers, ARTICLES FROM THE SCIP CONFERENCE*, pp. 194–201, 2003.

# WeeR: an Application for Utilization of Mobile Phone as Virtual Reality Interface

<sup>1</sup>Erik HRIC, <sup>2</sup>Štefan KOREČKO, <sup>3</sup>Branislav SOBOTA, <sup>4</sup>João SARAIVA, <sup>5</sup>Ladislav JACHO, <sup>6</sup>Peter PASTORNICKÝ

<sup>1–3,5,6</sup>Department of Computers and Informatic, Faculty of Electrical Engineering and Informatics Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>4</sup>Departamento de Informática, Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710 057 Braga, Portugal

<sup>1</sup>erik.hric@gmail.com, <sup>2</sup>stefan.korecko@tuke.sk <sup>3</sup>branislav.sobota@tuke.sk,  
<sup>4</sup>jas@di.uminho.pt, <sup>5</sup>ladislav.jacho@tuke.sk, <sup>6</sup>peter.pastornicky@tuke.sk

**Abstract** – With an increasing level of interest in virtual reality (VR), new alternative solutions for VR headsets begun to appear. Google Cardboard was released after the big success of Oculus Rift in a Kickstarter campaign. Invention of Google Cardboard proved that VR can be experienced even without spending a lot of money. The Cardboard relies on smartphone as the main computing and rendering unit in headset, while professional solutions are only used for rendering and head tracking. Even high end smartphones are heating up during its usage. That is where an idea of remote game rendering for Google Cardboard came up. In this paper we present an application called WeeR, which is our original implementation of the idea, and compare it with already existing implementations.

**Keywords** – Android, Computer vision, Google Cardboard, Virtual reality, headset

## I. INTRODUCTION

The presence in virtual environment is gaining its popularity along with an arrival of more and more sophisticated technologies [1]. As the graph in Fig. 1 shows, the interest in virtual reality (VR) is rapidly growing. From 274 articles about virtual reality published in Taiwan, more than a half was devoted to interaction with VR [2].

Google Cardboard allows users to experience VR for a negligible price, but it is unable to provide natural-like interaction. Using computer vision in Android smartphone placed in VR headset, we can change quality of interaction with VR. Using Windows computer as the main processing unit leaves more hardware resources available in the smartphone. By limiting tasks done by the smartphone, we can save enough computing power to start simultaneously use the phone camera while experiencing VR.

## II. RELATED WORK

After development of VR headsets, manufacturers devoted their attention to VR accessories and specialised controllers. Virtual reality can be more immersive when the user interacts with it in a natural way [4]. When users play a game where they are shooting, the most natural way is to have a controller in a shape of a gun. Such controllers are available for PlayStation VR. When a player needs to interact with VR object with bare hands, mounting Leap Motion on headset can provide such experience without the need of physically holding the controller [5]. Leap Motion is a device that tracks users hands and convert their movement into interaction with VR objects (Fig.2).

Among the existing solutions for VR headsets based on Google Cardboard the most advanced ones are TrinusVR and Intugame. TrinusVR [6] communicates with computer in both directions. Smartphone provides data reading from its sensors and sends them to computer. Computer uses this data to adjust the view angle in 3D application. In the opposite direction, the smartphone is rendering video stream of 3D application received from computer. Big amount of computing



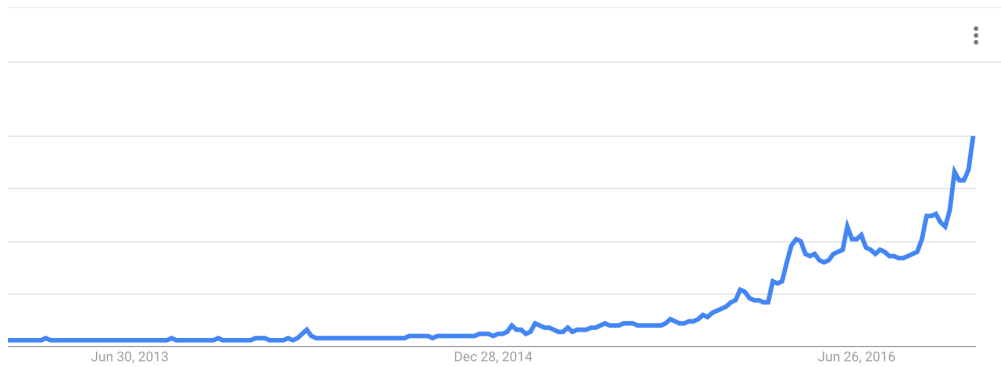


Fig. 1 Number of Google searches for “virtual reality” [3].



Fig. 2 Leap motion mounted on Oculus Rift.

power is moved away from smartphone using this technique. This approach increases delay time between each action and reaction to it [6]. This problem occurs not just in smartphone application that replicates VR headset, but in headsets as well. The Intugame [7] is similar to TrinusVR but is able to force the original application, which produces the image, to render it stereoscopically. It also supports game engines Unity and Unreal Engine.

### III. SYSTEM ARCHITECTURE

The application we developed, the WeeR, follows in the footsteps of TrinusVR and Intugame. WeeR consists of two major components (Fig. 3), communicating with each other via two public interfaces. The *PC* component runs on a personal computer with MS Windows operating system. This computer also runs the game or other application, which graphical output should be rendered on the screen of the phone (*Game window* in Fig. 3). The *Android* component runs on a smartphone with Android operating system. It renders the video stream received from the PC component and reads data from phone sensors and provides them to the PC component. The interface between the components is based on standard protocols, namely RTMP for video streaming and socket communication via TCP with JSON messages for other data exchange.

The *Android* component consists of components for receiving and decoding video stream into OpenGL texture (*ijkplayer* based on *ffmpeg*), rendering texture with video data (standard Android library), computer vision (*OpenCV*) and socket communication (standard Android support).

The *PC* component acts as a server and is a Qt program that uses Windows API for simulation of mouse and keyboard input. It also provides GUI for managing three third party tools using Batch scripts. Namely, *ffmpeg* for video streaming from game window, *ADB* for USB port forwarding for Android devices and *nginx* - video stream server.

Connections of these subcomponents within Android and PC define basic flow of data in WeeR. There are two streams of data coexisting independently:

- 1) Data flows from sensors and camera through OpenCV and TCP socket to the Qt application on PC that translates it into Windows API commands. If there is some exception or unexpected behaviour, second data flow cannot be affected.

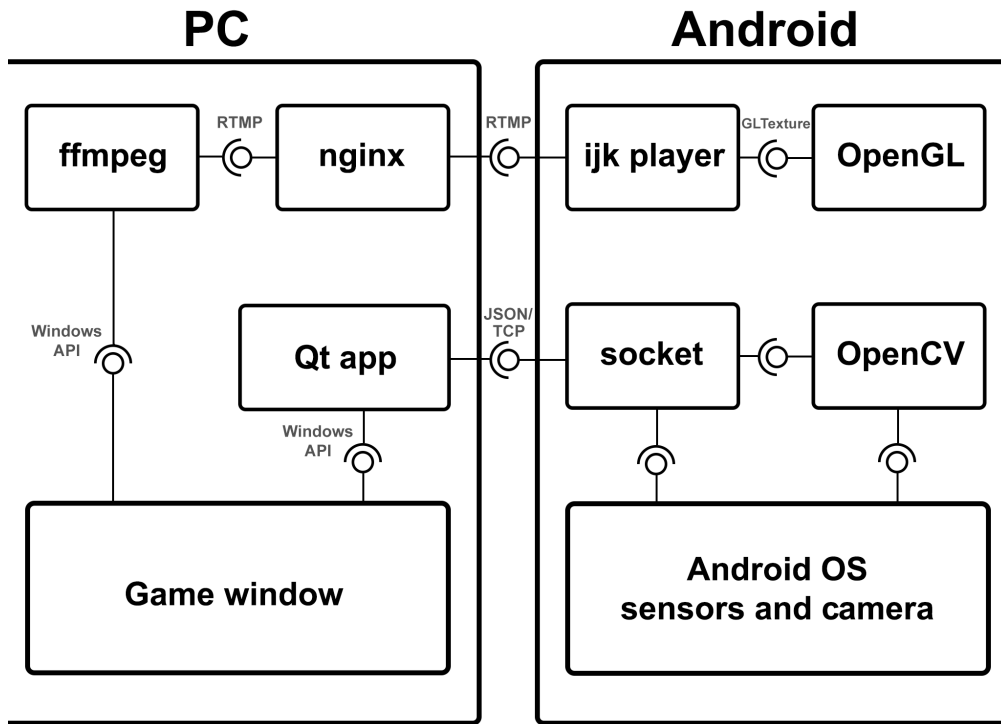


Fig. 3 High level architecture of WeeR.

- 2) Data flow that delivers video from game to the client. FFmpeg collects data from game windows and after encoding it, FFmpeg delivers it to nginx stream server. Nginx can broadcast video stream to any connected client that can play live RTMP stream. Our Android implementation uses ijkplayer to do that.

#### IV. LATENCY MEASUREMENT METHOD

Latency is the most important parameter, when it comes to compare VR systems. It is obvious that we can not compare our system to the professional VR headsets like Oculus or HTC Vive. Delay between action and reaction in systems like ours is far more higher than in the case of professional headsets. We will our solution to the others in the same category, namely with Intugame and TrinusVR. To measure the latency we use the following method.

- 1) Start stopwatch on host computer.
- 2) Share window with stopwatch as if it is the game window.
- 3) Start the Android component,
- 4) Using another phone or camera take a picture of computer monitor and smartphone screen.

It is important to fit both screens simultaneously in one picture. In figure 4 we can see example of the picture fit for measurement.

Difference between time value on both screens is the video delay. For example, we can calculate the latency from figure 4 as follows:

$$00:00.990 - 00:00.861 = 00:0.129s = 129ms$$

#### V. WEER EVALUATION

We selected several parameters and attributes to evaluate WeeR with respect to Intugame and TrinusVR. All the tests were done on a computer with parameters listed in table 1.

Processor	Intel Core i5 2.4 GHz
RAM	8GB
Graphic card	Intel HD 3000
USB	2.0
OS	Windows 7

Table 1  
 Computer parameters

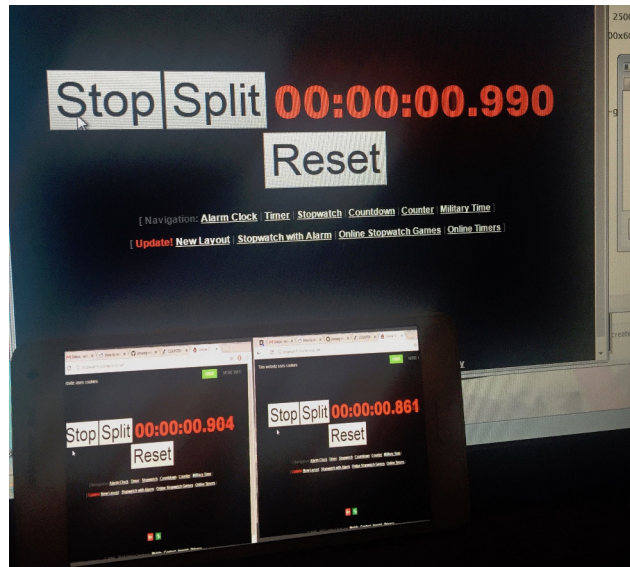


Fig. 4 Prklad merania obrazovej odozvy

The testing computer is an older, but sufficient model. The system was tested against three older games with following release dates:

- 1) Return to Castle Wolfenstein (2001),
- 2) Counter Strike 1.6 (2000),
- 3) GTA IV (2008).

Games we used for testing are not using all of the hardware resources themselves. This leaves us plenty of resources to run our tools. The only parameter that is blocking us from higher FPS or image resolution is USB 2.0. If the testing computer had USB 3.0 we would be able to tweak encoding parameters to fit in higher FPS and resolution until we reach bottleneck of ADB port forwarding. Results of the evaluation are summarized in table 2.

Parameter	TrinusVR	IntuGameVR	Our system
Latency	120 - 140ms	90 - 130ms	100 - 135ms
FPS	60	60	50-70
Maximal resolution	1920x1080	1920x1080	1024x768
Requires gyroscope	Yes	Yes	No
Camera input	No	No	Yes
Unity support	Yes	Yes	Yes
Unreal Engine support	Yes	No	Yes
Latency elimination	No	No	Yes
Steam VR simulation	Yes	No	No

Table 2  
 Result of system comparison

The evaluation was focused on the following performance measures and features:

- *Latency.* Using the method described in section IV we measured latency of other solutions. Latency is highly dependant on hardware load. Latency is oscillating between two values in every system.
- *Frames per second.* The ffmpeg, which we use for video streaming, is continuously logging its state to terminal or windows console output. This state info contains bitrate, FPS and a coefficient of speed. When everything is running as we required in parameters, the coefficient has the value of 1. This FPS value is only the number of frames being sent to the client, not the amount of frames rendered on smartphone.
- *Maximal resolution.* Maximal resolution, that we tested our system with, is 1024x768. Higher resolution is not inevitable. Games we tested had no stereoscopic support, so we duplicated the same video for both eyes on smartphone's side. Our system was limited by USB 2.0 and ADB port forwarding.
- *Requirement of gyroscope.* One of the experimental features that our system contains is a support of devices without gyroscope. Using solely accelerometer and magnetometer we were able to determine Euler angles. With lower precision of the input and little amount of

shakiness we were able to control the game as if it was gyroscope. No other VR system supports devices without gyroscope.

- *Camera input.* There are only a few applications for Cardboard on Google Play Store that use camera as an input. None of them is replicating VR headset by using computer as main processing unit. Application that we have been comparing use connection to computer, but do not contain computer vision and camera input.
- *Game engine support.* TrinusVR and IntuGameVR provides plugins for Unity. TrinusVR also supports Unreal Engine, while this support by IntuGameVR is still in development. Game engine support of our system was implemented simultaneously with the development of WeeR. Two plugins were developed, one for Unity and one for Unreal. These plugins replace the functionality of the Qt app in PC component.
- *Presence of latency elimination.* WeeR offers a solution for reducing video latency, similar to Oculus in so-called Asynchronous Time Warp mode. This means that WeeR renders different part of the frame when the user moves his head and a new frame is on its way to smartphone. This illusion was satisfactory for the games without a pointer in the middle of the screen. Otherwise, the user was able to see vibrations of the pointer.
- *Steam VR simulation.* TrinusVR has its way to simulate input of HTC Vive for Steam VR. This results in Android application, that is able to act as the HTC's VR headset. This way all the games supported by the HTC are also supported by TrinusVR. There is an open-source project OSVR<sup>1</sup> (Open Source Virtual Reality) that provides code that fakes input of HTC. It can also transform input from Leap Motion to Steam VR controllers.

It should be also noted that set-up of our system is simple in comparison to other systems. Lack of the big amount of settings is the main advantage and disadvantage. Tweaking correct setting of TrinusVR for smooth experience can take up to one hour and it still can be smooth just for one game. Our system doesn't have so much settings yet, but with its low requirements, setting up means just few clicks. Our solution still misses lens correction for different headsets.

## VI. CONCLUSION

Our system is equal, and in several aspects better than other systems in the same category. While our solution is just a proof of concept, it lacks UX design and easiness of use. The controlling application is the first one which is not just free but also an open-source solution. Our priority is not to primarily target specific users but to take attention of open-source community and get more contributors. Because of the relatively low power consumption of an Android-based smartphone, at least compared to older versions of professional VR headsets, the WeeR software can be seen as a contribution to the effort to lower the power consumption of contemporary computer systems and accessories.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract No. SK-PT-20150037 and by the Portugal-Slovakia Cooperation FCT Project (Ref. 441) and is also a result of the Project implementation: University Science Park TECHNICOM for Innovation Applications Supported by Knowledge Technology, ITMS: 26220220182, supported by the Research & Development Operational Programme funded by the ERDF.

## REFERENCES

- [1] S. X. Samur, "Comparing stage presence and virtual reality presence," *Brazilian journal on Presence Studies.*, vol. 6, no. 2, 2017. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1590/2237-266058902>
- [2] K. S. Hsu and Y. M. Huang, "A study on trends of virtual reality from year 2001 to 2010 in taiwan," in *2011 IEEE 11th International Conference on Advanced Learning Technologies*, July 2011, pp. 617–618.
- [3] Google trends. [Online]. Available: [https://trends.google.com/trends/explore?date=2013-01-01%202016-12-25&q=%2Fm%2F07\\_ny](https://trends.google.com/trends/explore?date=2013-01-01%202016-12-25&q=%2Fm%2F07_ny)
- [4] Oculus miffed: when vr is so immersive you fall flat on your face. [Online]. Available: <https://www.theguardian.com/technology/2016/nov/30/oculus-vr-immersive-fall-face-plant-virtual-reality>
- [5] Leap motion developer - oculus rift setup. [Online]. Available: <https://developer.leapmotion.com/vr-setup/oculusrift/>
- [6] T. VR. How it works. [Online]. Available: <http://trinusvr.com/help/how-it-works/>
- [7] Intugame. Intugame vr. [Online]. Available: <http://intugame.com/>

<sup>1</sup>OSVR - <https://github.com/osvr>

# Cloud Services for Intelligent Customer Relationship Management

Peter BEDNÁR, Henrieta STUDNIČKOVÁ

Department of Cybernetics and Artificial Intelligence, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>peter.bednar@tuke.sk, <sup>2</sup>henrieta.studnickova@student.tuke.sk

**Abstract** — In this article, the author focuses on a design of the intelligent customer relationship management. Such a proposal is to use the offer of existing cloud services. There are selected cognitive cloud services of Microsoft project Oxford. Using these services, an intelligent customer support center has been designed to manage incidents. Incidents, respectively requests are sent by customers via a single contact point of the organization, namely the Service Desk. At the beginning, the author of the article is describing the basic terms and presentation of selected cloud services. In the next part of the article, the reader can learn more about designing of the intelligent customer relationship management. At the end, the author describes the implemented application with test results of this application.

**Keywords** — Cloud computing, cognitive services, service desk, incident management, customer support.

## I. INTRODUCTION

In this article, we will describe our work on diploma thesis called “Cloud services for intelligent customer relationship management”.

Cloud services are part of everyday life. People meet them when checking emails, accessing photos or on social networks. For this work, “Cognitive Services APIs” of the project Oxford from Microsoft are being used. They are aimed to recognize the spoken speech, language and knowledge. Using these services, an intelligent customer relationship management is proposed. The Service desk should communicate with the customer, investigate incidents, monitor and track the status of requests, and report quality. This proposed customer support center should create support for incident management.

At the beginning of the article we describe the above-mentioned terms, also proposed intelligent customer support center using selected cognitive cloud services. Finally, the article describes the application that was implemented along with the test results of this application.

## II. CLOUD COMPUTING

Cloud computing can be characterized as a model providing services that are stored on remote servers and accessed from anywhere. It’s enough for the user to have an internet-connected device. This allows convenient quick access to shared storage, applications or other services. Another benefit of cloud services is payment through “pay as you go”, not for their own software. This has the effect of reducing costs and better adapting to change.

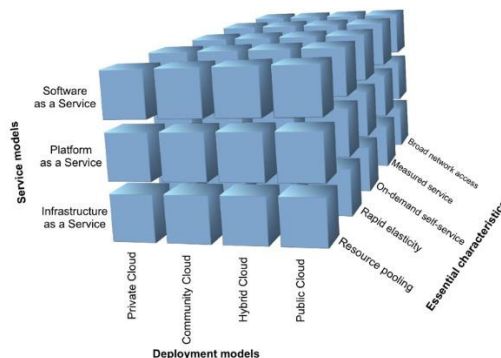


Figure 1. – Cloud computing [1]

Cloud computing has five characteristics [2]:

- On-demand self-service – The user will request the service according to his own needs without prior reservation. It means the service is instantly accessible using an internet browser or application.
- Broad network access – Access to provided resources is possible not only with a classic device such as a laptop or a PC, but also via a mobile phone or tablet.
- Resource pooling – Computing resources are capable of delivering services to multiple users. Resources are allocated by the multi-tenant model to users dynamically according to their requirements.
- Rapid elasticity – The provided services are unlimited for the user because they can be increased, reduced and unlimited at any time.
- Measured service – Measurability is a major and important part of cloud computing. Thanks to it, the provided resources are automatically optimized.

### III. INCIDENT MANAGEMENT

Incident management is usually closely linked to the Service Desk, which is a single point of contact for all users who communicate with company.

If the service is in any way disturbed or fails to deliver the required performance during operating hours, it is necessary to react quickly and restore the normal operation of the service. Also the incident management solves the situation of possible falling or deterioration of service when it must promptly trigger a response that would correct this situation and thus prevent the possible failure of the service.

The aim of incident management is not only to restore the normal operation of the service but also to minimize the negative impact on the level of quality and availability of the service. Restoring normal service should be as fast as possible, with the smallest possible impact on business and costs. If we want to define a normal service, we are talking about the Service Level Agreement (SLA). SLA is a written agreement on the level of service provided between the provider and the customer. This agreement includes a description of IT services, documentation on the target service level and specification about responsibilities of the IT service provider and the customer.

Incident management is a core component of the ITIL (Information Technology Infrastructure Library) lifecycle for IT. Process of ITIL incident management that deals with restoring a service as quickly and efficiently as possible can see on next picture. [4] (Figure 2)

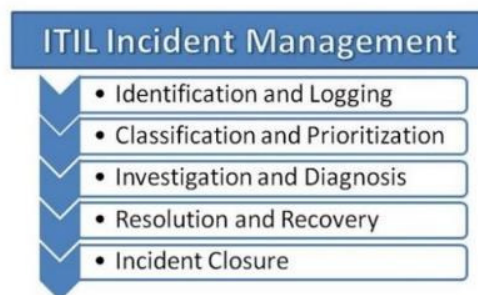


Figure 2 – Process of ITIL incident management

Process of ITIL incident management consists of followed steps:

- Identification and Logging
- Classification and Prioritization
- Investigation and Diagnosis
- Resolution and Recovery
- Incident Closure.

Firstly, the incident is identified. There are various forms of sources as incident can come. Incidents can be received by email, phone calls, support chats or automated notices. The service desk must decide if message is an incident or if it's a request fulfillment. After identification of incident, service desk logs the incident as a ticket. The ticket should consist of information about user's name, his contact, incident description (unique reference number, incident categorization,

urgency, impact, prioritization, status, the date and time of incident report, etc.).

During categorization assigns incident category and at least one subcategory. It allows the service desk to sort and model incidents. Next step is prioritization, which involves assigning a priority of incidents. The urgency of the incident and the level of impact that is caused can determine prioritization.

The next step is initial diagnosis, where the user describes his problem and answers the questions corresponding to the problem. Subsequently, the service desk will find out if it needs to call a certified support worker. If an initial diagnosis confirms the hypothesis of impact, then the investigation and diagnosis are followed.

After diagnosis, employees of service desk can apply a solution, for example order new hardware or change the software setup. Service desk confirms that the service has been restored to SLA requirements.

Finally, the incident will be recorded as closed and this will end the incident process. You can see the presentation of the process in the following picture.

#### IV. DESIGNING AN INTELLIGENT CUSTOMER SUPPORT SOLUTION

The aim of this article is to describe the design of an intelligent customer relationship management, which we have devoted to the above-mentioned diploma thesis, with the use of available cloud services. These cloud services should be able to help the customer support center, which is why services have been selected that are cognitive and know how to recognize the very important and valuable information for that center. The great advantage of these services is that they have a very fast response.

For this work, we chose Microsoft cognitive cloud services from project Oxford. These services can be used to create various applications. Offer of these Microsoft cognitive cloud services are shown in the following picture (Figure 3). [8]

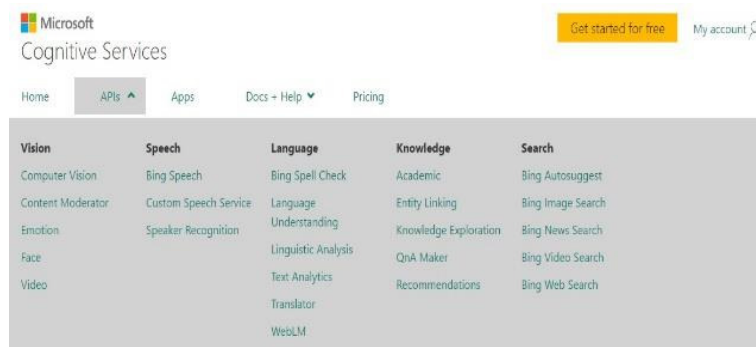


Figure 3 – Offer of Microsoft cognitive services

#### BING SPEECH

Cloud Bing Speech is cognitive service from Microsoft that handles spoken language. Speaking speech can be processed directly from the microphone or from .wav file. This API allows developers to add speech-controlled actions to their apps, even real-time interaction with the user. “Speech to text” transforms speech into the API text interface, allowing you to create intelligent, voice-triggered applications. “Text to speech” allows you to create intelligent applications that can talk.

#### SPEAKER RECOGNITION

Speaker Recognition is also a service that recognizes speech. This service can recognize the person who speaks. Voice has unique features that use this service to recognize the person who speaks. The service team increases security levels while simplifying customer verification. When recording the voice of the narrator, he assigns “Speaker ID” that is the unique identification number of the narrator, which will serve to mark its identity.

#### TEXT ANALYTICS

Microsoft Text Analytics is capable of detecting sentiment, keywords, theme and language

from the text. Sentiment analysis returns the used sentiment from the text with a numeric value in the 0 – 1 range. The values that approach the unit indicate the positive sentiment. Conversely, the values that approximate zero create a negative sentiment. Keyword extraction returns a list of strings identifying key discussion phrases in the input text. Detection of the topic returns the identified topics to the list of submitted text entries. The topic is identified with key phrases that may have one or more related words. This interface requires at least 100 submitted text entries, but it is also intended for thousands of records for topic detection. Language detection returns the used language and a numeric value between 0 – 1, indicates accuracy of the identified language. 1 means 100% accuracy of the detected language in the text.

Documentation for other selected cognitive cloud services that are used to design an intelligent customer relationship management is available on the Microsoft website.

The designed solution for the intelligent customer relationship management deals with incident management. Looking at the structure of the ITIL incident management process, which is shown in Picture 2, we can see that it consists of 5 main steps. However, in this work, we are focusing on the first two steps:

- Identification and Logging
- Classification and Prioritization.

Exactly for these two steps, recognition services can be used. Services are able to identify and obtain information that is helpful in identifying whether a customer's message is actually taken as an incident or a requirement to perform. Also, they can assist in classifying, so when deciding what category and subcategory we assign with the incident. We can also decide on prioritization based on received information from these services, such as sentiment or assigned category.

By comparing the recognized sentiment and the assigned category, it is possible to determine the low, medium or high priority of incident for which rapid react is needed. Under the rapid react in this proposal, we mean using the LUIS cognitive cloud service from Microsoft, which after training can trigger an action like a chat with a customer where your Service Desk can get more information about the details of the incident.

## V. TESTING

### *ANALYSIS OF DIFFERENCE OF RECOGNIZED TEXT AND SPOKEN TEXT*

Application testing has shown that the recognized text is almost identical to the text we recorded as audio message. However, it is significant to note that appropriate conditions are important. It means proper articulation and quiet environment. In unfavourable conditions is a better choice text message.

### *ANALYSIS OF SENTIMENT RECOGNIZED*

Recognized sentiment can be a great benefit, especially when it comes to an incident in which the customer is very dissatisfied and wishes immediate remedy. In such cases, the application test results showed clear results of the detected sentiment at low numerical values. An example of such an incident is illustrated in the following picture, in which it is possible to see a text message and its recognized sentiment that is approaching zero, which means that the detected sentiment is obviously negative.

### *ANALYSIS OF RECOGNIZED KEY PHRASES*

Testing the functionality of the application also has recognized key phrases from input messages. These key phrases sometimes consist of one word, but they can also be composed of several words. The following sample shows the message from customer and application-recognized key phrases.

## VI. CONCLUSION

This study was created for designing an intelligent customer relationship management. The proposal uses cognitive cloud services, which recognize quickly and efficiently important information that can help with further processing to the Service Desk.

Testing the 40 different received messages has proven that Microsoft cloud services have been remarkably accurate. The implemented application can return high-value information in milliseconds. We are talking about the big benefits in Service Desk and Incident Management. Other selected cloud services of proposal could be implemented in the future to improve application functionality.



#### ACKNOWLEDGEMENT

This publication arose thanks to the support of the Operational Programme Research and development for the project "Centre of Information and Communication Technologies for Knowledge Systems" (ITMS code 26220120020), co-financed by the European Regional Development Fund.

#### REFERENCES

- [1] Cloud Computing cube [online]. Available at: <<http://cdn.katescomment.com/wordpress/wp-content/uploads/2010/02/CloudCube1.png>>.
- [2] Jan Fuxa: Cloudové služby v chodu organizace [online]. 2013. Bachelor thesis, Available at: <[http://theses.cz/id/wrd18d/BP\\_Fuxa.pdf](http://theses.cz/id/wrd18d/BP_Fuxa.pdf)>.
- [3] Amazon Web Services: Types of Cloud Computing [online]. 2017. Available at: <<https://aws.amazon.com/types-of-cloud-computing/>>.
- [4] BMC : ITIL Incident Management [online]. 2016. Available at: <<http://www.bmc.com/guides/itil-incident-management.html>>.
- [5] Incident Management Process Flow [online]. 2012. Available at: <<http://blog.globalknowledge.com/2012/04/18/incident-management-process-flow-which-comes-first-categorization-or-initial-diagnosis/>>.
- [6] Loina Prifti, Robert Heining, Sonja Hecht, Helmut Krcmar: Service Desk Requirements for Cloud Service Providers. Paderborn Germany [online]. 2014. Available at: <[https://www.researchgate.net/publication/260964665\\_Service\\_Desk\\_Requirements\\_for\\_Cloud\\_Service\\_Provider](https://www.researchgate.net/publication/260964665_Service_Desk_Requirements_for_Cloud_Service_Provider)>.

# Dereverberácia rečového signálu založená na párovaní časovo a spektrálne dekorelovaných príznakov

*Peter VISZLAY, Slavomír GEREG, Jozef Greššák, Jozef JUHÁR*

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií,  
Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach,  
Park Komenského 13, 042 10 Košice, Slovenská republika

peter.viszlay@tuke.sk, slavomir.gereg@student.tuke.sk, jozef.gressak@tuke.sk,  
jozef.juhar@tuke.sk

**Abstrakt** – Témou tohto článku je dozvuk (reverb) a jeho odstraňovanie (dereverberácia). Článok predstavuje a opisuje iniciálny výskum zameraný na elimináciu reverbu z rečového signálu v systéme automatického rozpoznávania reči. Negatívne účinky reverbu sú známe nielen z bežného života, ale aj z vedeckej praxe. Je známe, že reverb znižuje kvalitu a mieru zrozumiteľnosti rečového prejavu vplyvom oneskorených, odrazených zložiek pôvodného signálu. V tomto článku prezentujeme návrh systému na potlačenie reverbu v príznakovej oblasti parametrizovanej reči. Na dereverberáciu je využitý voľne dostupný nástroj založený na párovaní časovo a spektrálne dekorelovaných príznakov reči, ktoré sú priamo použité v systéme rozpoznávania plynulej reči pre slovenský a anglický jazyk. Výsledky evaluácie dokazujú evidentné zníženie chybovosti automatického prepisu referenčných systémov nielen v simulovaných podmienkach reverbu, ale aj v prípade reálneho reverbu.

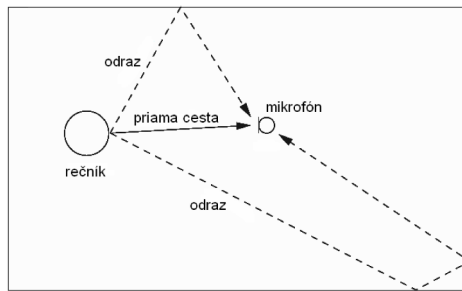
**Keywords** – dereverberácia, dozvuk, rečové príznaky, reverb, rozpoznávanie reči

## I. ÚVOD

Reverb (dozvuk) je spôsobený odrazmi pôvodného akustického signálu v uzavretom akustickom priestore, ktorý je snímaný mikrofónom. Vo všeobecnosti platí, že zvuk nezanikne okamžite po jeho vzniku, ale je po nejaký čas počuteľný v dôsledku odrazov od stien, stropov a iných povrchov. Potom sa zmieša s neskorším priamym zvukom a takto vznikne dozvuk [1]. Dozvuk môžeme rozdeliť na skorý dozvuk a neskorý dozvuk. Za skorý dozvuk označujeme prípad, keď prijatý signál pozostáva z priamej vlny a odrazov, ktoré prichádzajú krátko po priamej vlne. Za neskorý dozvuk označujeme prípad, keď ďalší odrazený signál prichádza po skorých odrazoch [2].

Základným ukazovateľom akustického prostredia je čas doznievania zvuku. Je to čas, za ktorý zvuk poklesne o 60dB. Označuje sa symbolom  $T_{60}$  a udáva sa v sekundách. Podľa času dozvuku môžeme akustické prostredia rozdeliť na prostredia s dlhým časom dozvuku a s krátkym časom dozvuku. Ľudská reč je najlepšie zrozumiteľná v prostrediach s krátkym časom dozvuku. Prostredia s dlhým časom dozvuku sú napríklad vhodné pre hudbu. Čas dozvuku je ovplyvnený veľkosťou priestoru a množstvom odrazových alebo absorpčných povrchov v miestnosti. Priestor s výrazne absorpčnými stenami bude pohlcovať zvuk a zabráni mu pred odrazom naspäť do priestoru. Odrážajúce steny odrážajú zvuk a tým čas dozvuku vzrastá. Vo všeobecnosti platí, že väčšie akustické priestory majú dlhší čas dozvuku v porovnaní s menšími priestormi [2].

Na Obr. 1 je principiálne znázornené šírenie nahrávaného rečového signálu od rečníka viacerými cestami. Šírenie signálu priamou cestou je pri nahrávaní reči žiadané, zatiaľ čo šírenie signálu pomocou odrazov spôsobuje reverb. Algoritmy na skvalitnenie skreslených rečových signálov sa využívajú vo veľkom množstve aplikácií, ako napr. pre mobilné telefóny, sluchové pomôcky alebo tzv. hands-free zariadenia. Osoby s dobrým sluchom sú dozvukom ovplyvnené len málo, ale slabšie počujúci znášajú tento efekt pomerne ťažšie. Preto spomínané sluchové pomôcky majú implementovanú metódu, ktorá tento vplyv zmierňuje alebo eliminuje. Na odstránenie dozvuku bolo vytvorených viacero algoritmov a väčšina z nich bola overená aj v praxi. Pri odstránení dozvuku má na skvalitnenie reči značný vplyv aj to, koľkými mikrofónmi sa bude zdrojový signál snímať. Pri použití jedného mikrofónu sa dozvuk odstraňuje podstatne ťažšie. Metódy využívajúce mikrofónne pole sa pokúšajú potlačovať zvukovú energiu prichádzajúcu z iného miesta ako je umiestnený priamy zdroj zvuku, teda z miesta, od ktorého sa priamy zvuk odráža [2].



Obr. 1 Vznik reverbu a šírenie odrazených vln v prirodzenom prostredí.

## II. PREHLAD METÓD NA DEREVERBERÁCIU REČOVÉHO SIGNÁLU

Dereverberácia je proces, ktorý automaticky odstraňuje dozvuk z akustických signálov. Najčastejšie sa využíva v systémoch rozpoznávania reči a iných rečových aplikáciách, ktoré používajú vzdialené mikrofóny, pretože reverb degraduje kvalitu rečového signálu [3]. Dereverberačný proces v ideálnom prípade eliminuje znehodnotenie reči spôsobené akustickým prostredím a tým prispeje k zmenšeniu nestacionarity rečového signálu. Značná časť dereverberačných algoritmov je založená na lineárnej predikcii (kódovaní), ktorá je osvedčená a účinná metóda analýzy audio signálov [4]. V praxi je dereverberácia veľmi dôležitá napr. pri rozpoznávaní mítingových audiozáznamov, ktoré sa často využíva nielen vo firemnom sektore na prepis zasadnutí, prednášok, školení a pod. Keďže záznam sa v takomto prípade realizuje v zasadacích miestnostiach so značným reverbom, jeho eliminácia je viac než nutná [5].

V praxi bolo navrhnutých mnoho metód na dereverberáciu reči (v angl. *speech dereverberation*). Z nich je najznámejšia metóda *weighted prediction error*, skr. WPE, ktorá vykonáva inverzné filtrovanie priestorového akustického signálu založené na lineárnej predikcii [6], [7]. Táto metóda patrí tiež do kategórie štatistických metód, navrhnutých na minimalizovanie očakávanej hodnoty skreslenia meraného medzi čistým a odhadovaným signálom [4]. Autori v prácach [8] a [9] využili metódu spektrálneho odčítania na elimináciu rozptýlenia a maskovania spektrálnych vlastností foném. Popísaná metóda odhaduje výkonové spektrum odrazu na základe štatistického modelu neskorého dozvuku. Ďalšia metóda SMERSH (v angl. *spatiotemporal averaging method for enhancement of reverberant speech*) využíva fyziologicky motivovaný prístup dereverberácii. Využíva viacnásobnú lineárnu predikciu na získanie reverbovaného zvyšku signálu a následne časové spriemernenie na potlačenie reverbu počas znelých úsekov reči [1], [10], [11]. Zaujímavou v tejto oblasti je aj metóda známa pod skratkou DYPSA (v angl. *dynamic programming projected phase-slope algorithm*), ktorá využíva automatickú estimáciu polôh hlasivkových impulzov priamo z rečového signálu. Má vyššiu odolnosť voči šumu a dozvuku [12].

Väčšina metód eliminujúcich reverb generuje na výstupe opäť rečový signál v časovej oblasti (vzorky), ktorý je po extrakcii príznakov použiteľný na rozpoznávanie. Avšak častým prípadom je, že vlastnosti takéhoto signálu nezodpovedajú vlastnostiam akustického modelu v systéme. Z tohto dôvodu sme pre naše účely hľadali metódu, ktorá podporuje dereverberáciu priamo v príznakovej oblasti namiesto časovej. Týmto požiadavkám vyhoveľa metóda založená na párovaní časovo a spektrálne dekorelovaných príznakov, ktoré je možné priamo použiť na rozpoznávanie reči. Metóda využíva mapovanie od reverbovaných rečových distribúcií k čistým rečovým distribúciám v dekorelovaných oblastiach a potom k mel-spektrálnym príznakovým vektorom reči [13]. Algoritmus bol vyvinutý na Univerzite Aalto vo Fínsku v rámci medzinárodného workshopu REVERB Challenge<sup>1</sup> v roku 2014. Implementácia tejto metódy bola realizovaná v prostredí Matlab a pre výskumné účely je voľne dostupná<sup>2</sup>. Autori deklarujú vylepšenia úspešnosti rozpoznávania reči z hľadiska úlohy dereverberácie. Tento fakt bol pre nás hlavnou motiváciou využitia uvedenej metódy pre účely dereverberácie v našom systéme rozpoznávania reči.

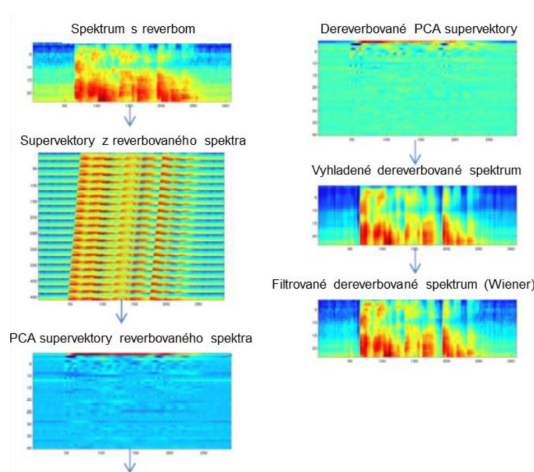
## III. DEREVERBERÁCIÁ REČI ZALOŽENÁ NA PÁROVANÍ ČASOVO A SPEKTRÁLNE DEKORELOVANÝCH PRÍZNAKOV

### A. Všeobecný matematický opis

Pri tejto metóde je dereverberácia považovaná za Bayesov inverzný problém, v ktorom sa snažíme získať (obnoviť) spektrum čistej reči  $\mathbf{o}_x$  dané spektrom zašumenej reči  $\mathbf{o}_y$ . Posteriorne

<sup>1</sup><http://reverb2014.dereverberation.com>

<sup>2</sup><http://users.spa.aalto.fi/kpalomak/DM.html>



Obr. 2 Ukážka spektrogramov náhodnej audionahrávky v jednotlivých fázach aplikácie algoritmu.

rozdelenie pravdepodobnosti pre dereverbovanú reč  $p(\mathbf{o}_x|\mathbf{o}_y)$  je potom:

$$p(\mathbf{o}_x|\mathbf{o}_y) \propto p(\mathbf{o}_x)p(\mathbf{o}_y|\mathbf{o}_x), \quad (1)$$

kde  $p(\mathbf{o}_x)$  je apriórna pravdepodobnosť čistej reči a  $p(\mathbf{o}_y|\mathbf{o}_x)$  reprezentuje pozorovanie reverbovanej reči. V terminológii spracovania signálov môže byť reverb považovaný za konvolučný súčín pri rozumnej presnosti. Konvolúcia  $b(t) = (o * h)(t)$  rečového signálu v časovej oblasti  $o(t)$  a FIR filtra  $h(t)$  môže byť vyjadrená ako maticová operácia:

$$\mathbf{b} = \mathbf{H}\mathbf{o}, \quad (2)$$

kde  $\mathbf{H}$  je Toeplitzova matica, ktorá reprezentuje filter  $h$  a  $\mathbf{b}$  je výsledný reverbovaný signál. Podrobnejšie informácie a detailný matematický opis metódy je možné nájsť v pôvodnej publikácii autorov [13].

### B. Princíp metódy

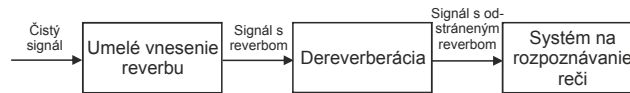
Ako už bolo spomenuté vyššie, zvolená metóda vychádza z algoritmu založenom na párovaní rečových príznakových vektorov dekorelovaných v časovej a spektrálnej oblasti. Tento prístup využíva dlhotrvajúci rečový kontext reprezentovaný supervektorom zloženým z niekoľkých susedných základných príznakových vektorov. Takýto supervektor reverbovanej reči v časovo-spektrálnej reprezentácii je dekorelovaný metódou PCA (analýza hlavných komponentov, v angl. *principal component analysis*). V dekorelovaní sú supervektory mapované z distribúcie reverbovanej reči do distribúcie čistej reči v mel-spektrálnom príznakovom priestore. Tieto vektory sú potom priamo využiteľné ako typické príznaky v systéme automatického rozpoznávania reči. V poslednom kroku post-spracovania je aplikovaný Wienerov filter. Opísanú procedúru symbolicky znázorňuje Obr. 2 s ukázkami spektrogramov vybraného audiosignálu v jednotlivých fázach aplikácie algoritmu.

## IV. NÁVRH SYSTÉMU NA DEREVERBERÁCIU REČOVÝCH SIGNÁLOV

### A. Softvérové komponenty nástroja

Softvérový nástroj na dereverberáciu reči na základe opísaného algoritmu pozostáva z nasledovných komponentov:

- *Modul na prípravu tréningových dát* - algoritmus vyžaduje na efektívnu dereverberáciu množinu čistých rečových dát, ktoré neobsahujú reverb. Táto množina je využitá na extrahovanie supervektorov čistej reči, na základe ktorých sa vykoná párovanie príznakových reverbovaných vektorov. Dáta sa importujú do jednej matice, ktorá vstupuje do spracovania. Keďže celý proces dereverberácie prebieha v mel-spektrálnej oblasti, vstupné dáta sú parametrizované 20-rozmernou MELSPEC parametrizáciou nástrojom HTK (viď podkapitola V-B).
- *Modul na tréning parametrov PCA* - tento modul obsluhuje vytvorenie kontextových supervektorov zo základných príznakových vektorov (importovanej matice dát) s prednastavenou dĺžkou kontextu  $C = 20$  vektorov. V ďalšom kroku sa na supermaticu aplikuje štandardná metóda PCA, ktorej výsledkom je transformačná matica.
- *Modul na dvoj-prechodovú dereverberáciu* - v poslednom kroku aplikácie algoritmu sa aplikujú dereverberačné postupy s využitím párovania čistých a reverbovaných supervektorov



Obr. 3 Bloková schéma procesu dereverberácie pre experimentálny scenár s umelým reverbom.

v dvoch iteráciách. Vstupné dáta rovnako podliehajú generovaniu supervektorov, aby bolo možné dereverberáciu vykonať v oblasti supervektorov. Po mapovaní vektorov sa aplikuje opačný proces tvorby supervektorov na pôvodný rozmer  $N = 20$ , pričom sa na koeficienty nakoniec aplikuje logaritmus, čím sa príznaky typu MELSPEC pretransformujú do typu FBANK. Tieto príznaky sú potom priamo použiteľné v systéme rozpoznávania reči.

### B. Typy experimentálnych scenárov

S cieľom vyhodnotenia účinnosti dereverberačného algoritmu sme sa rozhodli navrhnuť dva evaluačné scenáre, ktoré sa líšia pôvodom eliminovaného reverbu:

- *Experiment v simulovanom prostredí* - podstatou tohto scenára je, že čisté nahrávky z databázy sa znehodnotia umelo-vneseným reverbom, ktorý bude následne eliminovaný. Na tento účel sme využili voľne dostupný reverberačný nástroj<sup>3</sup> umožňujúci simulovať reverb v malej, strednej a veľkej miestnosti.
- *Experiment v reálnom prostredí* - v tomto scenári obsahujú rečové dáta reálny - prirodzený reverb miestnosti. Nahrávky boli zaznamenané mikrofónnym poľom (viď podkapitola V-A). K dátam existoval aj manuálny prepis, ktorý je nutný na vyhodnotenie úspešnosti automatického prepisu. Nahrávacie scenár tejto malej testovacej databázy pozostával súčasne zo záznamu rečového signálu mikrofónnym poľom (prítomný značný reverb) a zo záznamu náhlavným (v angl. *close talk*) mikrofónom (takmer bez reverbu).

Je potrebné uviesť, že pri aplikácii dereverberačného algoritmu je dôležité zvoliť kompromis medzi množstvom tréningových dát, nárokmi na pamäť a úspešnosťou algoritmu. V našom prípade sme empiricky zvolili 10% dát (462 nahrávok) z úplnej tréningovej množiny v prípade simulovaného reverbu a 500 relatívne čistých nahrávok z tréningovej množiny v prípade reálneho reverbu.

## V. PODMIENKY EXPERIMENTOV A NASTAVENIE SYSTÉMOV ROZPOZNÁVANIA REČI

### A. Rečové databázy

V prípade experimentu v simulovanom prostredí sme využili anglickú akustickú databázu TIMIT [14] obsahujúcu približne 10 hodín foneticky bohatej diktovanej reči. Databáza bola nahraná od 630 rečníkov s rôznym dialektom americkej angličtiny a z rôznych regiónov. Tréningovú množinu tvorí 4620 nahrávok a testovaciu tvorí 1680 iných nahrávok.

V prípade reálneho experimentu sme využili databázu čítaných prejavov simulujúcich súdne pojednávanie z relácie *Súdna sieň*, ktorá bola nahraná v rámci diplomovej práce Ing. Martina Hiřovského [15]. Nahrávky obsahovali výrazný reverb, preto ich bolo možné vhodne využiť v danom experimente. Ďalšou výhodou dát bolo, že bol k nim dostupný manuálny prepis na vyhodnotenie chybovosti automatického prepisu. Nahrávky boli snímané 32-kanálovým sférickým (guľovým) mikrofónnym poľom typu EM32 Eigenmike<sup>4</sup> a následne spracované originálne navrhnutými algoritmi a knižnicou [16].

### B. Predspracovanie reči

Nahrávky boli nahraté vzorkovacou frekvenciou  $16\text{kHz}$  a boli predspracované podľa štandardných parametrizácií MELSPEC, FBANK, MFCC\_0\_D\_A\_Z a MFCC\_D\_A\_Z (v prípade dopočtu pre výstupné dereverbované príznaky FBANK) [17]. Pre dimenziu modelov platí, že FBANK modely boli tréňované na 20-rozmerných FBANK vektoroch (rozmer zachovaný podľa nástroja na dereverberáciu). Modely typu MFCC\_0\_D\_A\_Z mali štandardný rozmer 39 (12 kepstrálnych koeficientov, 0-tý koeficient, dynamické a akceleračné koeficienty). Modely typu MFCC\_D\_A\_Z boli vytvárané kvôli zvýšeniu úspešnosti dereverbovaných FBANK príznakov takým spôsobom, že z príznakov FBANK boli dodatočne dopočítané MFCC príznaky. Keďže v tomto bode už nebolo možné vypočítať 0-tý koeficient, kvôli zachovaniu rovnakého rozmeru (39) sme použili 13 kepstrálnych koeficientov namiesto 12 s dopočtom dynamických koeficientov, výsledkom čoho bol opäť 39-rozmerný MFCC model.

<sup>3</sup>[http://www.cps.unizar.es/fbeltran/matlab\\_files.html](http://www.cps.unizar.es/fbeltran/matlab_files.html)

<sup>4</sup><https://mhacoustics.com/products>

Tabuľka 1

Porovnanie chybovostí referenčných modelov s chybovosťou dereverberovaných dát v scenári so simulovaným reverbom

Miera reverbu	Ref. model MFCC_0_D_A_Z	Ref. model MFCC_D_A_Z	Dereverb. dáta MFCC_D_A_Z	Diferencia voči MFCC_0_D_A_Z	Diferencia voči MFCC_D_A_Z
100%	92,04	95,86	90,13	<b>-1,91</b>	<b>-5,73</b>
90%	91,98	95,55	88,26	<b>-3,72</b>	<b>-7,29</b>
80%	91,88	95,25	86,53	<b>-5,35</b>	<b>-8,72</b>
70%	91,18	93,64	84,46	<b>-6,72</b>	<b>-9,18</b>
60%	91,40	92,01	81,59	<b>-9,81</b>	<b>-10,42</b>
50%	89,36	88,81	75,77	<b>-13,59</b>	<b>-13,04</b>
40%	86,00	83,87	68,72	<b>-17,28</b>	<b>-15,15</b>
30%	78,42	72,61	56,41	<b>-22,01</b>	<b>-16,20</b>
20%	65,51	56,99	42,65	<b>-22,86</b>	<b>-14,34</b>
10%	45,08	41,02	28,76	<b>-16,32</b>	<b>-12,26</b>

### C. Akustické modelovanie

V prípade experimentu v simulovanom prostredí systém rozpoznávania reči používal kontextovo nezávislé monofónny modelované pomocou troj-stavových ľavo-pravých skrytých Markovových modelov. Počet Gaussových zmesí použitých na 1 stav bol 256 zmesí. Fonetická segmentácia 41 foném bola získaná z tréningu a automatického zarovnania. Pre testovacie účely bol vytvorený bigramový jazykový model a slovník s počtom slov cca 6000.

V prípade reálneho experimentu bol využitý reálny systém na rozpoznávanie reči s veľkým slovníkom, natrénovaný na nahrávkach z relácie *Súdna sieň* v trvaní približne 60 hodín. Systém používal kontextovo závislé trifóny modelované pomocou troj-stavových ľavo-pravých skrytých Markovových modelov s počtom Gaussových zmesí 32. Bol využitý slovník s počtom slov približne 500 000 a trigramový jazykový model.

### D. Evaluačný parameter

Za účelom evaluácie navrhnutých postupov bol zvolený parameter chybovosť rozpoznávania (v angl. *word error rate*, skr. WER), ktorý je doplnkovou hodnotou úspešnosti (v angl. *accuracy*, skr. Acc.) v percentách, ktorá bola vypočítaná nasledovne:

$$Acc. = \frac{H - I}{N} \times 100\%, \quad (3)$$

kde symbol  $H$  vyjadruje počet správne rozpoznaných slov,  $I$  je počet vložených chýb (v angl. *insertions*) a  $N$  je počet všetkých referenčných slov [17]. Výsledný parameter bol vypočítaný:

$$WER = 100(\%) - Acc. \quad (4)$$

## VI. EXPERIMENTÁLNE VÝSLEDKY A VYHODNOTENIE

Evaluácia je rozdelená do dvoch častí, podľa vyššie opísaných experimentálnych scenárov. Výsledky pre scenár so simulovaným reverbom sú uvedené v Tab. 1 (chybovosti prepisu v %). Prvý stĺpec vyjadruje, aká miera reverbu v reverberačnom nástroji (krátky, dlhý) bola použitá na vneseenie do čistých nahrávok, pričom hodnota 100% vyjadruje dlhý reverb a so znižujúcou sa hodnotou aj dĺžka dozvuku klesá. Ďalšie dva stĺpce predstavujú referenčné hodnoty pre dva vyhodnocované typy dát. Typ MFCC\_0\_D\_A\_Z uvádzame z dôvodu, že je to štandardný typ kompozície vektorov v systéme rozpoznávania reči, voči ktorému sme chceli porovnať naše výsledky. Štvrtý stĺpec predstavuje hlavný výsledok tejto práce, t.j. chybovosť prepisu spracovaných - dereverberovaných testovacích dát. Posledné dva stĺpce vyjadrujú diferenciu voči referenčným modelom.

Z tabuľky je zrejmé, že dereverberačný algoritmus bol účinný v celom experimente pre všetky miery reverbu, pretože v každom prípade došlo k zníženiu chybovosti systému, bez ohľadu na typ referenčného modelu. Najnižšie chybovosti sme zaznamenali pre mieru reverbu v rozsahu 20%-30%, čo predstavuje kratšie doby trvania umelého reverbu. Na druhej strane, najnižšiu efektivitu vykazuje algoritmus pre dlhé trvanie reverbu (80%-100%), pri ktorom bolo už aj subjektívne veľmi obtiažne rozpoznať obsah nahrávky. Maximálne vylepšenie systému sme dosiahli pri miere reverbu 20% s hodnotou -22,86% v porovnaní so štandardným výsledkom (rozpoznané dáta s reverbom bez akéhokoľvek spracovania).

Výsledky pre scenár s reálnym reverbom sú uvedené v Tab. 2, ktorej štruktúra je rovnaká v porovnaní s Tab. 1, s výnimkou prvého stĺpca, ktorý opisuje typ tréningových dát použitých pri dereverberácii (CTM = close talk microphone, SUS1 = Súdna Sieň). Na základe tabuľky

Tabuľka 2  
 Porovnanie chybovostí referenčných modelov s chybovosťou dereverberovaných dát v scenári s reálnym reverbom

Trénovacie dáta algoritmu	Ref. model MFCC_0_D_A_Z	Ref. model MFCC_D_A_Z	Dereverb. dáta MFCC_D_A_Z	Diferencia voči MFCC_0_D_A_Z	Diferencia voči MFCC_D_A_Z
CTM	83,03	85,71	79,09	<b>-3,94</b>	<b>-6,62</b>
SUS1	83,03	85,71	75,98	<b>-7,05</b>	<b>-9,73</b>
CTM+SUS1	83,03	85,71	77,34	<b>-5,69</b>	<b>-8,37</b>

môžeme konštatovať podobné závery, ako v prípade predošlého scenára. Je zrejmé, že pre všetky typy trénovacích dát bolo dosiahnuté zníženie chybovosti systému, pričom najlepší výsledok, ako bolo očakávané, bol dosiahnutý pri najčistejších trénovacích dátach (SUS1) s hodnotou  $-7,05\%$  v porovnaní s modelom MFCC\_0\_D\_A\_Z. Druhý pozitívny výsledok v poradí bol dosiahnutý s dátami zmiešanými z oboch separátnych množín (čisté zmiešané s veľmi krátkym reverbom) a najmenej priaznivý, ale stále úspešný výsledok deklaruje v prípade použitia trénovacích dát z náhlavného mikrofónu. Je to odôvodniteľné, pretože algoritmus potrebuje na vstupe čo možno najčistejšie dáta, aby bola jeho funkcia efektívna.

## VII. ZÁVER A BUDÚCE CIELE VÝSKUMU

Prezentovaný článok sa zaoberá dereverberáciou rečového signálu snímaného jedno-kanálovým mikrofónom, ako aj viackanálovým mikrofónnym poľom v systéme automatického rozpoznávania plynulej reči pre slovenský a anglický jazyk. Prezatý algoritmus bol evaluovaný v scenári so simulovaným, ako aj reálnym reverbom. V oboch prípadoch sme dokázali, že algoritmus pracujúci na úrovni príznakov reči v mel-spektrálnej oblasti, je efektívny v oboch scenároch a prináša zníženie chybovosti prepisu v porovnaní s referenčnými úrovňami pre rôzne miery reverbu.

V ďalšom období sa plánujeme zamerať už len na scenár s reálnym reverbom a optimalizovať použitý dereverberačný nástroj z hľadiska výpočtových nárokov. Plánujeme prezentovaný postup ďalej skombinovať s akustickým modelovaním z viacdruhových dát, aby sa podmienky dereverberácie uplatňovali aj na úrovni modelu reči, nielen v príznakovom priestore.

## POĎAKOVANIE

Táto práca vznikla vďaka podpore Vedeckej grantovej agentúry realizáciou projektu VEGA 1/0511/17 a vďaka podpore Agentúry na podporu výskumu a vývoja realizáciou projektu APVV-15-0517, financovaných z prostriedkov Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR.

## LITERATÚRA

- [1] I. Andráš, "Skvalitňovanie reči s dozvukom metódami lineárnej predikcie," Master's thesis, KEMT FEI TUKE, Košice, Slovensko, 2013.
- [2] J. Lysík, "Algoritmy na odstránenie dozvuku z reči," Master's thesis, KEMT FEI TUKE, Košice, Slovensko, 2011.
- [3] T. Yoshioka, A. Sehr, M. Delcroix, K. Kinoshita, R. Maas, T. Nakatani, and W. Kellermann, "Making Machines Understand Us in Reverberant Rooms: Robustness Against Reverberation for Automatic Speech Recognition," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 29, no. 6, pp. 114–126, 2012.
- [4] P. Naylor and D. N. Gaubitch, *Speech dereverberation*. London, UK: Springer Science & Business Media, 2010.
- [5] T. Hori, S. Araki, T. Nakatani, and A. Nakamura, "Advances in multi-speaker conversational speech recognition and understanding," *NTT Technical Review*, vol. 11, no. 12, 2013.
- [6] A. Jukić and S. Doclo, "Speech dereverberation using weighted prediction error with Laplacian model of the desired signal," in *Proc. of ICASSP 2014*, Florence, Italy, 2014, pp. 5172–5176.
- [7] M. Delcroix, T. Yoshioka, A. Ogawa, Y. Kubo, M. Fujimoto, I. Nobutaka, K. Kinoshita, M. Espi, T. Hori, T. Nakatani, and A. Nakamura, "Linear prediction-based dereverberation with advanced speech enhancement and recognition technologies for the REVERB challenge," in *Proc. of the REVERB Challenge Workshop 2014*, 2014, pp. 1–8.
- [8] K. Lebart, J. M. Boucher, and P. N. Denbigh, "A new method based on spectral subtraction for speech dereverberation," *Acta Acustica*, vol. 87, no. 3, pp. 359–366, 2001.
- [9] E. A. P. Habets, "Single-channel speech dereverberation based on spectral subtraction," in *Proc. of ProRISC (Circuits, Systems and Signal Processing) 2004*, Utrecht, Netherlands, 2004, pp. 250–254.
- [10] N. D. Gaubitch and P. Naylor, "Spatiotemporal averaging method for enhancement of reverberant speech," in *Proc. of DSP (Digital Signal Processing) 2007*, Cardiff, UK, 2007, pp. 607–610.
- [11] A. H. Moore, P. A. Naylor, and J. Skoglund, "An analysis of the effect of larynx-synchronous averaging on dereverberation of voiced speech," in *Proc. of EUSIPCO 2014*, Lisbon, Portugal, 2014, pp. 924–928.
- [12] M. R. P. Thomas, N. D. Gaubitch, J. Gudnason, and P. A. Naylor, "A practical multichannel dereverberation algorithm using multichannel Dypsa and spatiotemporal averaging," in *Proc. of the Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics*, New York, USA, 2007, pp. 50–53.
- [13] K. J. Palomaki and H. Kallajoki, "Reverberation robust speech recognition by matching distributions of spectrally and temporally decorrelated features," in *Proc. of the REVERB Challenge Workshop 2014*, 2014.
- [14] J. S. Garofolo *et al.*, "TIMIT acoustic-phonetic continuous speech corpus," Philadelphia, 1993, Linguistic Data Consortium.
- [15] M. Hiřovský, "Rozpoznávanie reči pomocou mikrofónových poľí," Master's thesis, KEMT FEI TUKE, Košice, Slovensko, 2016.
- [16] M. Hiřovský, J. Greššák, M. Lojka, and J. Juhár, "MAPL - microphone array processing library," in *Proc. of ELMAR 2016*, Zadar, Croatia, 2016, pp. 27–30.
- [17] S. Young *et al.*, *The HTK Book (for HTK Version 3.4)*. Cambridge University, 2006.

# Demonštračný elektromyograf

*Juraj ERDELYI, Pavol DOLINSKÝ, Linus MICHAELI*

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovak Republic

juraj.erdelyi@student.tuke.sk, pavol.dolinsky@tuke.sk, linus.michaeli@tuke.sk

**Abstrakt** — Elektromyograf je prístroj na vyhodnotenie a záznam elektrickej aktivity svalov. Tento článok opisuje základný princíp merania elektrickej aktivity svalov, spolu s návrhom a realizáciou pracoviska pre jeho demonštráciu. Úlohou je tiež navrhnuť a zrealizovať galvanické oddelenie biopotenciálového zosilňovača pripojeného na sval vyšetrovanej osoby od počítača, pred prípadným zásahom elektrickým prúdom. Na snímanie biosignálu je využitý biopotenciálový zosilňovač OLIMEX. Záznam signálu z biopotenciálového zosilňovača a izolačného zosilňovača sa vykonáva pomocou zvukovej karty počítača. Druhou úlohou je vytvoriť program v prostredí LabVIEW pre meranie, záznam a vyhodnotenie snímaného biosignálu. Tento elektromyografický prístroj má slúžiť ako experimentálne demonštračné pracovisko pre predmet „Lekárska elektronika“.

**Kľúčové slová** — Elektromyograf, LabVIEW, galvanické oddelenie, izolačný zosilňovač, biopotenciál

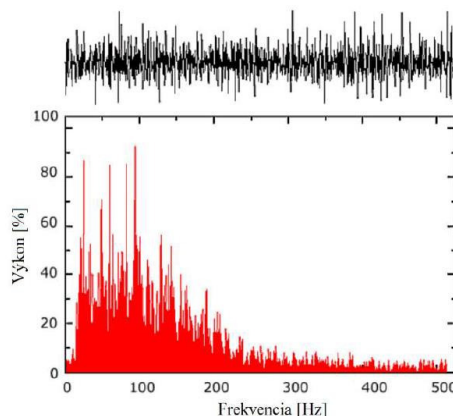
## I. ÚVOD

Elektromyografia (EMG) slúži pre vyhodnotenie elektrickej aktivity svalov a je dôležitým prostriedkom lekárskej diagnostiky rôznych nervovosvalových chorôb a poškodení ako sú alkoholická neuropatia, myopatia, či syndróm karpálneho tunela. Elektrický signál sa sníma z povrchu kože pomocou elektród upevnených do tesnej blízkosti vyšetrovaného svalu, zosilní sa pomocou biopotenciálového zosilňovača a ďalej sa vyhodnocuje. V prípadoch, keď je diagnostický prístroj napájaný z elektrorozvodnej siete, je veľmi dôležitá elektrická bezpečnosť vyšetrovaného pacienta, ktorá je zabezpečená galvanickým oddelením biopotenciálového zosilňovača od zvyšku prístroja.

## II. TEORETICKÝ ZÁKLAD K EMG

### A. Charakteristika signálu EMG

Pretože sa EMG signál sníma obyčajne z povrchu kože, je reprezentovaný superpozíciou všetkých akčných potenciálov svalových vlákien nachádzajúcich sa v mieste elektródy. Okamžitá amplitúda EMG signálu je preto stochastická a možno ju reprezentovať Gaussovou distribučnou funkciou. Amplitúda signálu môže byť v rozmedzí 0 až  $10\text{mV}_{\text{pp}}$  alebo 0 až  $1,5\text{mV}_{\text{RMS}}$ . Použiteľná energia signálu je vo frekvenčnom rozsahu 0 až 500 Hz, pričom dominantná energia je v rozmedzí 50 až 150 Hz. Použiteľné signály sú signály s energiou nad úrovňou elektrického šumu. Príklad časového priebehu a frekvenčného spektra EMG signálu je na obr. 1



Obr. 1 Časový priebeh a frekvenčné spektrum typického EMG signálu pri kontrakcii 50% [1]



EMG signál sa najčastejšie analyzuje v časovej oblasti, kde sa vyhodnocuje jeho úroveň po dvojcestnom usmernení alebo jeho efektívna hodnota [2]. Signál sa vyznačuje tým, že ak sa nevykonáva žiadna svalová aktivita, ani signál nevykazuje žiadnu aktivitu. Úroveň signálu sa mení s veľkosťou sily vyvinutej v meranom svale.

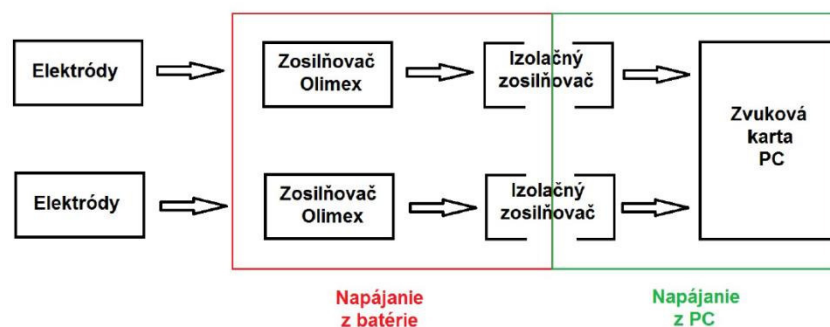
### B. Biopotenciálové zosilňovače

Biosignál sa zaznamenáva ako rozdiel elektrických potenciálov na povrchu kože. Napätie, ktoré sa meria je v rozsahu  $1\mu\text{V}$  až  $100\text{mV}$ . Zdroj takého signálu má pritom vysokú impedanciu a je potrebné ho zosilniť, aby bol svojou úrovňou kompatibilný so vstupmi zariadení ako A/D prevodníky alebo rekordéry. Zosilňovače na meranie takého signálu musia spĺňať veľmi špecifické požiadavky. Základné sú: fyziologický proces, ktorý sa monitoruje, nesmie byť ovplyvnený zosilňovačom (zosilňovač by mal mať vstupný odpor aspoň  $10\text{M}\Omega$ ); meraný signál by nemal byť skreslený - zosilňovač by mal byť lineárny; mal by čo najlepšie oddeliť signál od šumu; musí byť chránený proti poškodeniu, ktorého dôsledkom by mohlo byť vysoké vstupné napätie; musí chrániť pacienta proti úrazu elektrickým prúdom. Zosilňovače, ktoré spĺňajú tieto požiadavky sa nazývajú biopotenciálové zosilňovače [3]. Typické zapojenie biopotenciálového zosilňovača využíva na svojom vstupe prístrojový zosilňovač, ktorý sa vyznačuje veľkým vstupným odporom a vysokým činiteľom potlačenia súhlasného signálu.

EMG signál sa sníma obyčajne pomocou troch elektród na jeden kanál, z ktorých dve sú diferenčným vstupom prístrojového zosilňovača a jedna je referenčná. Výstupný signál zosilňovača potom pozostáva z: požadovaného EMG signálu; nežiaduceho biosignálu; interferencie z elektrorozvodnej siete ( $50\text{Hz}/60\text{Hz}$ ); interferencie generovanej tkanivami a šumu.

## III. REALIZÁCIA ELEKTROMYOGRAFU

Elektromyograf využíva biopotenciálový zosilňovač OLIMEX, ktoré sú pôvodne určené ako doplnok k modulom Arduino. Obsahujú na vstupe vysokonapäťovú ochranu a dolnopriepustný filter. Tu sa signál zosilní prístrojovým zosilňovačom so ziskom 10. Nasleduje filter typu horný priepust s medznou frekvenciou  $0,16\text{ Hz}$ . Signál sa tu ešte dodatočne zosilní zosilňovačom s nastaviteľným ziskom od 5,76 do 101, ktorý možno regulovať trimrom na doske zosilňovača. Signál sa opäť filtruje filtrom typu horný priepust a aktívnym filtrom, ktorý potlačí rušenie mimo frekvenčný rozsah biosignálu. Na vstup biopotenciálového zosilňovača sa privádza signál z elektród a jeho výstup je privedený na vstup izolačného zosilňovača, ktorý slúži na galvanické oddelenie biopotenciálového zosilňovača od zvukovej karty počítača. Biopotenciálový zosilňovač a vstupná časť izolačného zosilňovača je napájaná z batérie. Z výstupu izolačného zosilňovača je signál privedený k vstupu zvukovej karty stolného počítača. Výstupná časť izolačného zosilňovača je napájaná z počítača. Elektromyograf je riešený ako dvojkanálový, ako je vidieť na blokovej schéme znázornenej na obr.2. Zosilňovače s galvanickým oddelením je možné bez úprav využiť aj pre snímanie iných biosignálov, napríklad elektrokardiogramu.

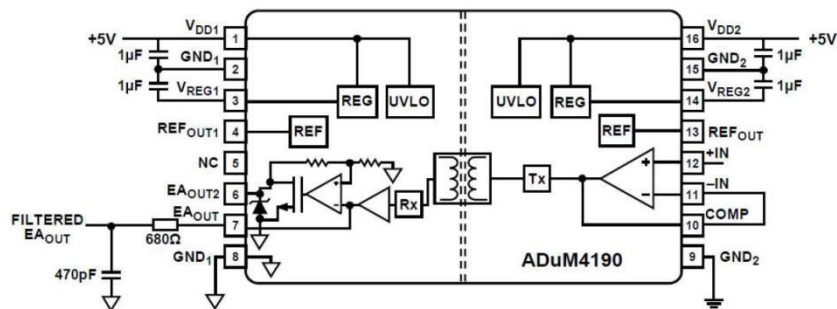


Obr. 2 Blokova schéma demonstračného elektromyografu

### A. Izolačný zosilňovač

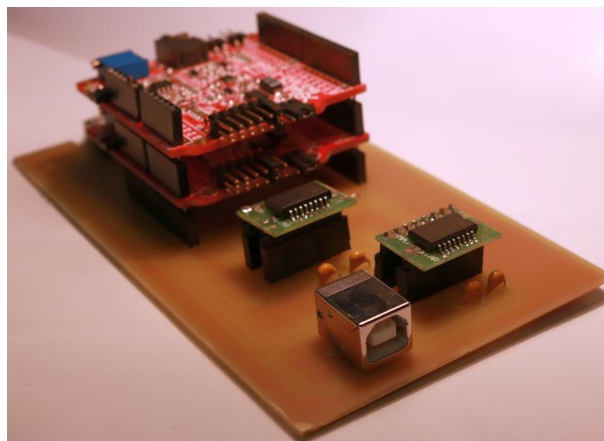
Zapojenie izolačného zosilňovača pre jeden kanál je zrejmé z obr.3. Využitý je tu integrovaný obvod ADuM4190 [4], ktorý pracuje v katalógovom zapojení. Vstup do izolačného zosilňovača je na svorke č.12 označenej ako +IN, čo je svorka neinvertujúceho vstupu operačného zosilňovača vo vstupnej časti integrovaného obvodu. Výstup operačného zosilňovača je spojený s jeho invertujúcim vstupom, čím vznikne napäťový sledovač, ktorý zabezpečí na vstupe vysoký vstupný odpor. Napájanie vstupnej časti zosilňovača je medzi svorkami č.16 a č.9, kde je privedené napájacie napätie z batérie.

Výstup izolačného zosilňovača je na svorke č.7, kde je pripojený dolnopriepustný filter s medznou frekvenciou asi 500kHz, odkiaľ signál pokračuje na vstup zvukovej karty počítača. Výstupná časť zosilňovača sa napája priamo napätím 5V z USB portu počítača. Kondenzátory v napájacej vetve slúžia pre filtráciu napájania.



Obr. 3 Zapojenie izolačného zosilňovača s ADuM4190 [4]

Oba izolačné zosilňovače sú osadené na navrhnutom plošnom spoji spolu s konektormi, ktoré umožňujú jednoducho pripojiť dva moduly biopotenciálových zosilňovačov OLIMEX, a tvoria tak s nimi jeden kompaktný celok (obr.4.).



Obr. 4 Hotový modul izolačných zosilňovačov s pripojenými modulmi OLIMEX

### B. Program pre záznam a analýzu EMG signálu

Program bol vytvorený v programovacom prostredí LabVIEW a umožňuje zaznamenať nasnímaný priebeh EMG signálu a zobraziť jeho efektívnu, ako aj dvojcestne usmernenú hodnotu. Zobrazovaný priebeh je možné tiež ukladať a čítať zo súboru.

Pre čítanie zo zvukovej karty je použitý podprogram Sound Input Read.vi, ktorý je umiestnený v slučke while. Jeho základný parameter - počet vzoriek na kanál je konštantne daný hodnotou 1000, ostatné parametre ako sú vzorkovacia frekvencia, počet bitov na vzorku a počet kanálov možno nastavovať na prednom paneli podprogramom Sound Input Configure.vi. Zápis a čítanie údajov sa vykonáva pomocou podprogramov Write To Measurement File a Read To Measurement File, pričom zápis alebo čítanie sa spúšťa stlačením tlačidla „Record“ alebo „Read“ na prednom paneli. Formát výstupného súboru je \*.lvm a cieľový priečinok pre ukladanie záznamu je možné zvoliť.

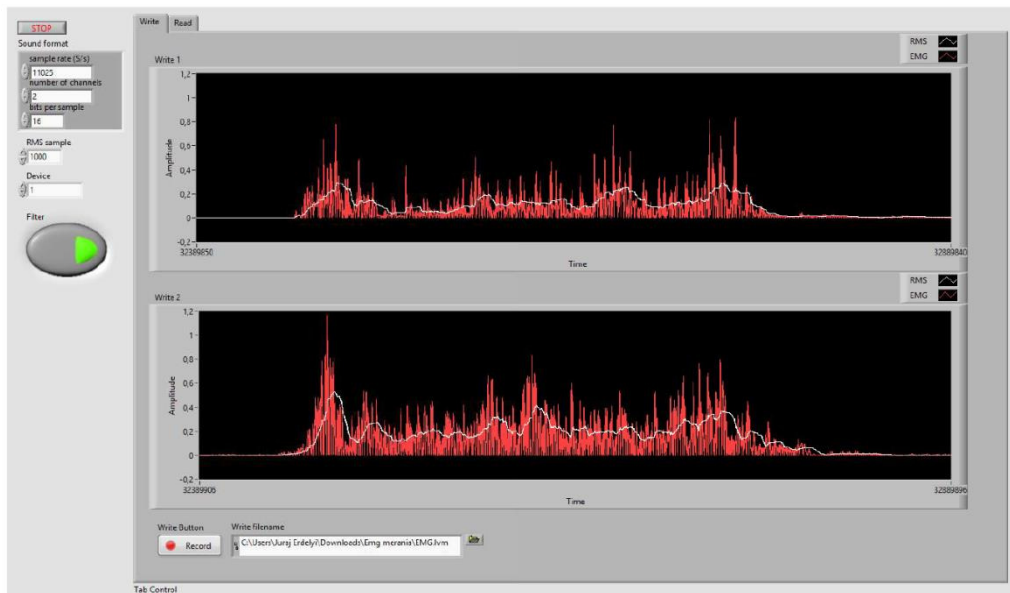
Po načítaní snímaného signálu zo zvukovej karty sa signál najprv filtruje. Tu sú využité dva číslkové filtre typu Butterworth. Najväčšie zastúpenie šumu pri meraní EMG signálu má práve šum z elektrorozvodnej siete, ktorý má frekvenciu 50 Hz, a ktorý sa už počas prvých experimentov zo záznamom signálu prejavoval dosť výrazne. Prvý filter je preto pásmová zádrž 5. rádu naladená na frekvenciu 50Hz. Druhý filter vyberie zo signálu iba podstatné pásmo od 20Hz po 500Hz, je teda typu pásmový priepust 5. rádu s uvedeným priepustným pásmom. Oba filtre je možné vypnúť, a zobraziť tak v prípade potreby aj nefiltrovaný signál.

Signál sa po filtrácii následne dvojcestne usmerní – vypočíta sa absolútna hodnota z jeho priebehu a zobrazí sa na grafickom indikátore na prednom paneli programu. Základným vyhodnocovaným parametrom EMG signálu je jeho efektívna hodnota (RMS – Root mean square). RMS patrí medzi najčastejšiu matematickú metódu, ktorá definuje účinne napätie alebo

prúd striedavého signálu. Kvôli tomu, že sa RMS počíta z určitého konečného počtu vzoriek, je výsledok potrebné upraviť tak, aby časová os RMS signálu a normovaného dvojcestne usmerneného signálu bola rovnaká. RMS sa vypočíta takto:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} |x_i|^2}, \quad (1)$$

kde  $x$  sú vzorky signálu a  $n$  je ich počet pre jeden časový rámeček. Počet vzoriek, z ktorých sa počíta RMS je tiež možné nastaviť na prednom paneli a vypočítaná hodnota sa zobrazuje v grafickom indikátore paralelne s dvojcestne usmerneným priebehom, ako to vidieť na obr.5. Priebehy na uvedenom obrázku sú namerané z bicepsov ľavej a pravej ruky počas kontrakcie svalu. Rovná čiara (základná línia) reprezentuje úsek bez svalovej aktivity.



Obr. 5 Predný panel programu pre záznam a analýzu EMG signálu.

#### IV. ZÁVER

Pre potreby výučby bol zhotovený jednoduchý experimentálny elektromyograf ako aj program v prostredí LabVIEW pre záznam a analýzu nasnímaného EMG signálu. Zrealizované bolo galvanické oddelenie biopotenciálových zosilňovačov OLIMEX, ktoré je možné prakticky využiť aj pri meraní iných biologických signálov. V prípade pripojenia biopotenciálových zosilňovačov k stolnému PC je tak dosiahnutá bezpečnosť merania, aj v prípade závažnej poruchy napájacieho zdroja v PC.

#### POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore projektu KEGA 015TUKE-4/2016.

#### REFERENCIE

- [1] C. J. De Luca, Surface Electromyography: Detection and Recording, Delsys 2002
- [2] M. Raez, M. Hussain, F. Mohd-Yasin, „ Techniques of EMG signal analysis: detection, processing, classification and applications,“ In: Biological Procedures Online, vol. 8, 2006, p. 11-35, ISSN: 1480-9222
- [3] J.D. Bronzino: The Biomedical Engineering Handbook: Second edition, CRC Press LLC, 2000
- [4] ADuM4190 High stability Isolated Error Amplifier datasheet, Analog Devices

# Návrh sociálnej platformy pre prezentovanie kultúrneho dedičstva

Peter BEDNÁR, Kamila PRACELOVÁ

Department of Cybernetics and Artificial Intelligence, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>peter.bednar@tuke.sk, <sup>2</sup>kamila.pracelova@student.tuke.sk

**Abstract** — Cieľom tohto článku je popísať vývoj sociálnej platformy, ktorá prezentuje kultúrne dedičstvo a umožňuje svojim používateľom publikovať vlastné naratívne príbehy. Táto webová aplikácia je určená ako bežným používateľom, tak aj kurátorom múzeí. Článok sa zaoberá prehľadom existujúcich webových stránok pre prezentovanie kultúrneho dedičstva, návrhom aplikácie založenej na prezentovaní naratívnych príbehov, popisom implementácie založenej na MVC modeli a vyhodnotením aplikácie z pohľadu bežných používateľov a kurátorov.

**Keywords** — kultúrne dedičstvo, sociálna platforma, vývoj webových aplikácií

## I. ÚVOD

Slovenská republika disponuje množstvom kultúrnych inštitúcií prezentujúcich umenie a kultúru z celého sveta a poskytuje tak bohatú škálu kultúrnych zážitkov rôzneho druhu. Jednotlivé múzea a galérie prezentujú svoje zbierky, expozície a výstavy samostatne, pomocou vlastných webových stránok. Všetky tieto portály sú zamerané len na informovanie verejnosti o v nich prebiehajúcich kultúrnych udalostiach a neumožňujú návštevníkom stránky prezerat' kultúrne objekty prezentované v týchto inštitúciách, či dokonca pracovať s obsahom stránky. Z tohto dôvodu existuje potreba vytvorenia webovej aplikácie, ktorá by nie len modernou formou prezentovala kultúrne dedičstvo nachádzajúce sa na území Slovenskej republiky, ale aj poskytovala svojim používateľom možnosť interaktívnej práce s jej obsahom a príležitosť zdieľať vytvorený obsah s inými používateľmi, spájajúc tak ľudí so záujmom o kultúru. Takto vytvorená sociálna platforma by mala zvýšiť povedomie ľudí o kultúre a zväčšiť ich záujem o návštevu jednotlivých kultúrnych inštitúcií.

## II. ANALÝZA EXISTUJÚCICH STRÁNOK

Aj napriek absencii jednotného portálu združujúceho kultúrne objekty nachádzajúce sa výlučne v kultúrnych inštitúciách na Slovensku, existuje hneď niekoľko domácich aj zahraničných portálov zahŕňajúcich obsah týchto kultúrnych inštitúcií.

*Web umenia* je on-line katalóg výtvarných diel zo zbierok 7 slovenských galérií evidovaných v Centrálnej evidencii diel výtvarného umenia (CEDVU). V súčasnosti táto platforma obsahuje vyše 100 000 výtvarných diel s popisom základných informácií o dielach a ich autoroch, ako aj pôvodné články, videá a kolekcie. Údaje a digitálne reprodukcie nachádzajúce sa na portály sú vkladané a pravidelne aktualizované zo systému CEDVU zamestnancami jednotlivých galérií.

*Slovakiana* - Ďalším webovým portálom združujúcim kultúrne dedičstvo Slovenska je portál Slovakiana, ktorý vznikol ako súčasť národného projektu Centrálne aplikačná infraštruktúra a registratúra (CAIR) a je na ňom dostupných viac ako milión zdigitalizovaných kultúrnych objektov. Ako v predchádzajúcom prípade, aj tu majú používatelia možnosť zobrazovať jednotlivé umelecké objekty s ich detailným popisom. Funkčnosťou navyše je v tomto prípade zobrazenie geografického umiestnenia kultúrneho objektu na mape a okrem prezerania jednotlivých umeleckých objektov aj možnosť absolvovať virtuálne exkurzie a výstavy umeleckých objektov.

*Profil Slovenskej kultúry* - Nasledujúcim z rady webových portálov zameriavajúcim sa na kultúrne dedičstvo Slovenska je portál Profil slovenskej kultúry, ktorý pokrýva všetky oblasti kultúry od

architektúry, cez múzické umenie, literatúru či filmy, až po turizmus. Nevýhodou portálu je jeho charakter zameriavajúci sa predovšetkým na slovný popis jednotlivých oblastí kultúry a umenia, využívajúc pritom zobrazenie zdigitalizovaných kultúrnych objektov a ich popis len v minimálnej miere. Ako aj v predchádzajúcich prípadoch, akákoľvek interakcia používateľov, okrem možnosti zdieľať obsah portálu na sociálnych sieťach, nie je možná.

*Europeana* - V snahe vytvoriť jednotnú európsku digitálnu knižnicu bol v roku 2008 pod záštitou Európskej únie spustený portál Europeana. Europeana, predstavovaná aj ako európska digitálna knižnica, múzeum a archív, sa v rámci svojej činnosti zameriava ako na samotnú digitalizáciu umeleckých objektov, tak aj ich následnú prezentáciu v digitálnej forme prostredníctvom webového portálu. Umelecké objekty zahrnuté v tomto projekte pochádzajú z galérií, knižníc, archívov a múzeí naprieč celou Európou, a výnimkou nie sú ani slovenské kultúrne inštitúcie. Webový portál ponúka okrem možnosti prezerat' zdigitalizované objekty aj naratívne príbehy prezentujúce tieto objekty a vlastný blog s príspevkami na tému umenia a informáciami o špeciálnych udalostiach a pripravovaných projektoch. Ako v predchádzajúcich prípadoch, ani Europeana neumožňuje používateľom akokoľvek pracovať s kultúrnymi objektmi alebo vytvárať na stránke vlastný obsah.

### III. NÁVRH PLATFORMY

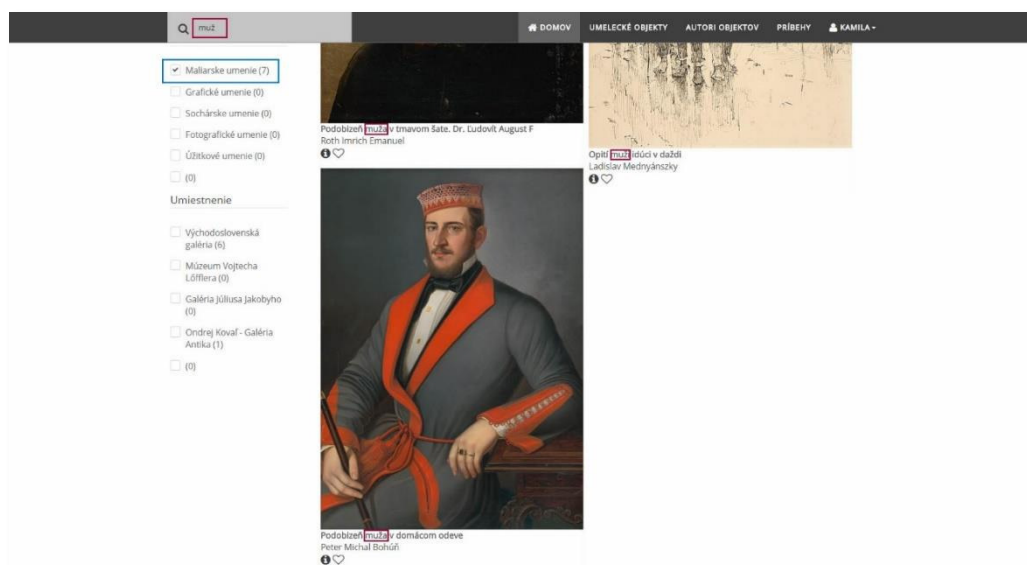
Funkčnosť navrhovanú platformy sme definovali prostredníctvom prípadov použitia a rozdelenia aplikácie na funkčné pohľady. Identifikovali sme nasledujúce pohľady:

*Domov* - K tomu, aby mohol používateľ využívať funkcionality aplikácie je nutná registrácia a prihlásenie používateľa. Domovská stránka aplikácie preto používateľom ponúka túto možnosť. Po prihlásení má používateľ v závislosti na oprávneniach k dispozícii ďalšie funkcie aplikácie.



Obrázok 1. Domovská stránka.

*Kultúrne objekty* - Stránka Kultúrne objekty zobrazí používateľovi všetky kultúrne objekty nachádzajúce sa v databáze. Používateľ má možnosť prechádzať všetky kultúrne objekty alebo bližšie špecifikovať to, o ktoré má záujem, prostredníctvom fazetového alebo fulltextového vyhľadávania (Obrázok 1.). Používateľ môže kultúrny objekt pridať alebo odobrať z obľúbených objektov a dozvedieť sa o ňom viac na stránke venovanej samotnému kultúrnemu objektu. Po kliknutí na kultúrny objekt ho aplikácia navedie na stránku, kde má používateľ možnosť vidieť kultúrny objekt vo väčšom vyobrazení a s detailnými informáciami týkajúcimi sa kultúrneho objektu. Súčasťou informácií o kultúrnom objekte je aj to, v ktorej kultúrnej inštitúcii je kultúrny objekt prezentovaný. Okrem písomnej informácie má používateľ možnosť vidieť umiestnenie kultúrnej inštitúcie aj na mape. Stránka ponúka používateľovi aj prehľad podobných objektov, ktoré by mohli používateľa zaujať. Ak sa tak stane, používateľ sa kliknutím na kultúrny objekt dostane na stránku s detailnými informáciami o tomto objekte.



Obrázok 2. Ukážka kombinácie fazetového a celotextového vyhľadávania kultúrnych objektov.

*Príbehy* - Stránka Príbehy ponúka prehľad všetkých príbehov vytvorených používateľmi. Pre pozretie príbehu stačí na príbeh kliknúť, čím sa používateľ dostane na stránku s celým príbehom, ktorý zahŕňa hlavný text samotného príbehu a vybrané kultúrne objekty súvisiace s príbehom. Používateľ má opäť možnosť zaradiť príbeh do obľúbených príbehov.

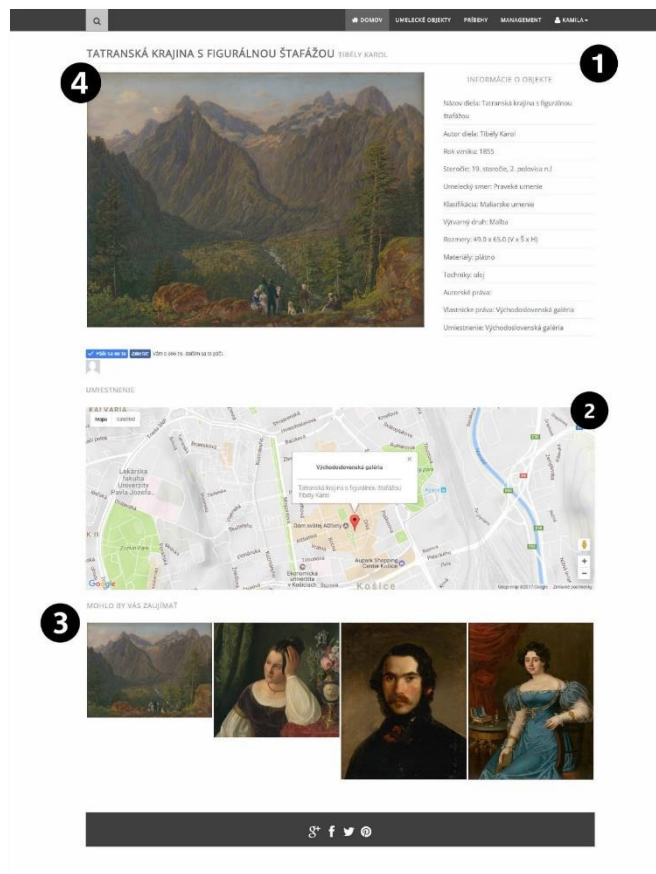
*Používateľ* - Aby sme navigačne menu nechali prehľadné a nezahtili ho množstvom položiek, všetky funkcie špecifické pre používateľa sme ukryli do položky menu s používateľským menom prihláseného používateľa. Táto položka predstavujúca rozbaľovací zoznam obsahuje stránky *Moje Objekty*, *Oblíbené objekty*, *Moje príbehy*, *Oblíbené příběhy* a možnosť *Odhlásiť sa*.

*Moje objekty* - Používateľ prihlásený ako kurátor a administrátor aplikácie má možnosť do aplikácie pridávať kultúrne objekty. Kultúrne objekty vytvorené prihláseným používateľom združuje stránka *Moje objekty*. Tu má používateľ možnosť tieto objekty editovať alebo odstrániť. Zároveň stránka ponúka možnosť *Vytvoriť objekt* prostredníctvom formulára, pomocou ktorého používateľ zadá jednotlivé atribúty kultúrneho objektu a objekt uverejní.

*Oblíbené objekty* - Stránka *Oblíbené objekty* zobrazí používateľovi objekty, ktoré na stránke so všetkými kultúrnymi objektmi, *Kultúrne objekty*, označil ako obľúbené. O týchto obľúbených objektoch má používateľ možnosť zobrazit' bližšie informácie alebo odobrať objekt z obľúbených objektov.

*Moje příběhy* - Na stránke *Moje příběhy* nájde používateľ vlastné naratívne příběhy, ktoré vytvoril. Používateľ má možnosť příběhy editovať alebo odstrániť. Zároveň stránka poskytuje používateľovi možnosť *Vytvoriť príbeh*. Zvolením tejto možnosti je používateľ presmerovaný na stránku s formulárom pre vytvorenie príbehu.

*Oblíbené příběhy* - Obdobne ako pri stránke *Oblíbené objekty*, aj stránka *Oblíbené příběhy* združuje příběhy, ktoré používateľ zaradil do obľúbených na stránke so všetkými príbehmi.



Obrázok 3. Ukážka zobrazenia jedného kulturného objektu. Oblasť 1 popisuje metadáta o objekte, 2 zobrazuje mapu s geolokalizáciou objektu, 3 relevantné súvisiace objekty a 4 digitálnu reprezentáciu objektu

#### IV. IMPLEMENTÁCIA

Funkcionality navrhovanej aplikácie sa nachádzajú na troch oddelených, vzájomne spolupracujúcich vrstvách, v ktorej každá vrstva má k dispozícii funkcie nižšej vrstvy. Takto použitá trojvrstvová architektúra umožňuje testovať moduly nezávisle od seba, čím sa značne uľahčuje proces implementácie aplikácie. Vrstvy trojvrstvého modelu, od najvyššej úrovne po najnižšiu úroveň, sú nasledovné:

- Prezentčná vrstva, ktorá je zodpovedná za prezentáciu používateľského rozhrania a interakciu s používateľom. Komponenty na tejto vrstve umožňujú používateľovi komunikovať s procesmi na aplikačnej vrstve bezpečným a intuitívnym spôsobom.
- Aplikačná vrstva, nazývaná aj vrstva aplikačnej logiky, má za úlohu transformovať požiadavky prezenčnej vrstvy na volanie externých modulov, ktoré vykonávajú požadované akcie a vrátia získané dáta z databázovej vrstvy prezenčnej vrstvy na zobrazenie používateľovi.
- Dátová vrstva, ktorej úlohou je komunikácia s databázou a vykonávanie operácie nad dátami v nej uloženými, ako napríklad ukladanie, výber, agregácia, či predspracovanie dát [10].

Navrhnutú architektúru aplikácie sme sa rozhodli implementovať použitím kombinácií technológií založených na jazyku JavaScript, takzvaný MEAN Stack. Pomenovanie MEAN je odvodené od začiatkových písmen jednotlivých komponentov tvoriacich túto kolekciu - MongoDB, Express.js, AngularJS a Node.js. Táto voľne sťahovateľná kolekcia technológií je určená na budovanie dynamických webových stránok a aplikácií, ktoré môžu byť napísané v jednom jazyku na strane servera aj klienta [11]. MEAN Stack sa nám preto javil ako ideálny nástroj pre vytvorenie navrhovanej sociálnej platformy. Aplikačná logika je rozdelená medzi frontend a backend, kde frontend je tvorený prezenčnou vrstvou a backend pozostáva z databázového a aplikačného servera.

#### V. VYHODNOTENIE

Testovanie je dôležitou fázou vývoja každého softvéru. Nie je to ale jednorazová činnosť, ktorá prebieha len na konci projektu. Rôzne formy testov by sa mali postupne aplikovať na všetky fázy

projektu, od jeho vývoju až po nasadenie. Existuje celá rada techník a modelov na testovanie softvéru, no my sme sa rozhodli využiť jeden z najznámejších a v praxi najpoužívanějších modelov testovacieho procesu, V-model.

Po otestovaní aplikácie používateľmi a zozbieraní výsledkov dotazníkov sme mohli vyhodnotiť výsledky testovania a odvodiť závery, ktoré pre nás vyplývajú.

Čo sa týka vizuálnej stránky aplikácie, používatelia hodnotili jednoduchý dizajn aplikácie pozitívne. Testovanie aplikácie používateľmi ale odhalilo slabinu v návrhu mapy stránok. Navigačné menu nebolo pre používateľov dostatočne intuitívne a nebolo im hneď zrejme to, aké funkčné možnosti im aplikácia ponúka. Navrhovanou zmenou je preto presunúť položky Moje Objekty, Obľúbené objekty, Moje Príbehy a Obľúbené príbehy priamo na hlavnú lištu menu, kde ich používateľ po prihlásení okamžite uvidí.

Pri testovaní sme ďalej zistili, že účel aplikácie bol hneď zjavný väčšine používateľom a po funkčnej stránke reagovala aplikácia podľa používateľov takmer vždy správne.

Testovanie funkcií pridávania objektov, vytvárania príbehov a funkcie filtrovania kultúrnych objektov vychádzalo priamo z testovacích scenárov. Očakávaná reakcia systému bola vo všetkých troch prípadoch identická so skutočnou reakciou systému, čo potvrdzuje aj kladné hodnotenie používateľov v dotazníkoch, podľa ktorých sa nevyskytli žiadne vážnejšie komplikácie pri využívaní týchto funkcionalít aplikácie.

Keďže sociálna platforma má aj vzdelávací charakter, bolo nutné sa uistiť, že informácie uvádzané v aplikácii sú správne. Tu bolo preto kľúčové hodnotenie osoby testujúcej účet kurátora, ktorá potvrdila pravdivosť informácií o kultúrnych objektoch a zhodnotila organizáciu a množstvo uvedených informácií ako vyhovujúce. Laickí používatelia, ktorí testovali aplikáciu, označili množstvo a organizáciu údajov o kultúrnych objektoch takisto ako dostačujúce.

V celkovom hodnotení aplikácie bežní používatelia vyjadrili, že aplikácia sa im páčila, pracovalo sa im s ňou dobre a odporučili by ju svojim známym. Usudzujeme, že priemerné hodnotenie získané pri otázke, či by túto aplikáciu reálne používali, pochádza z nedostatku záujmu testujúcich o umenie a kultúru.

Aplikácia v celkovom hodnotení zo strany pracovníka kultúrnej inštitúcie dopadla tiež nadpriemerne, hoci výsledky hodnotenia mohli byť do istej miery ovplyvnené záporným vzťahom tejto osoby k informačným technológiám. Na otázku, či by si vedela predstaviť využívať aplikáciu pri svojej práci sme dostali kladnú odpoveď, hoci navrhla vylepšenie aplikácie v podobe možnosti integrácie s webovým portálom Slovakiana, čím by sa umožnilo aplikácii preberať metaúdaje o kultúrnych objektoch z tohto portálu.

Celkovo hodnotíme poslednú fázu testovania ako úspešnú. Po analýze výsledkov dotazníkov sme dospeli k názoru, že používatelia hodnotili aplikáciu viac ako pozitívne. Akceptačné testovanie nám pomohlo odhaliť nedostatky aplikácie, ktoré by bolo vhodné odstrániť, a naopak poukázalo na vylepšenia, ktoré by sa pri ďalšom vývoji aplikácie mali implementovať.

## VI. ZÁVER

V tomto článku sme popísali návrh a implementáciu platformy pre prezentovanie kultúrneho dedičstva. Hlavnou motiváciou pre vytvorenie takejto aplikácie bol súčasný stav prezentácie kultúrnych objektov nachádzajúcich sa v slovenských kultúrnych inštitúciách prostredníctvom webových technológií, v ktorom sme videli nedostatky a priestor pre zlepšenie. To nás povzbudilo k vytvoreniu webovej aplikácie, ktorá by nielen prívetivou formou prezentovala kultúrne dedičstvo, ale aj ponúkla svojim používateľom možnosť interaktívnej práce s prezentovaným obsahom stránky v podobe publikovania naratívnych príbehov.

Aplikácia v súčasnom stave slúži kurátorom múzeí i bežným používateľom a v závislosti na oprávneniach používateľa umožňuje pridávať kultúrne objekty do aplikácie a vytvárať vlastné naratívne príbehy, ktoré budú zdieľané s ostatnými používateľmi aplikácie. Aplikácia zároveň ponúka svojim používateľom možnosť označovať kultúrne objekty a príbehy ako obľúbené, čo im umožňuje kedykoľvek sa vrátiť k objektom a príbehom, ktoré ich zaujali.

Priestor pre vylepšenie aplikácie sa ponúka po funkčnej aj vizuálnej stránke. Pri ďalšom vývoji softvéru by bolo vhodné odstrániť nedostatky, ktoré sme zistili počas akceptačného testovania aplikácie. Výrazným zlepšením aplikácie by bolo začlenenie návrhu pracovníka kultúrnej inštitúcie testujúceho softvér, ktorý by uvítal integráciu aplikácie s webovým portálom Slovakiana, čím by sa zjednodušil proces uverejňovania kultúrnych objektov v aplikácii.



## POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt "Centrum informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy" (kód ITMS:26220120020), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## REFERENCIE

- [1] KULÍKOVÁ, A., ANTALÍK, P.: Metodický manuál pre zabezpečenie mapovania a agregácie metadát [online]., Verzia 2.0, 06.10.2009, [cit. 2017-07-04]. Dostupné na internete: <[http://www.opis.culture.gov.sk/uploads/e3/0c/e30cb2c1e6bae18ab842191141383e19/19\\_metodicky\\_manual\\_pre\\_zabezpecenie-mapovania-a-agregacie-metadat.pdf](http://www.opis.culture.gov.sk/uploads/e3/0c/e30cb2c1e6bae18ab842191141383e19/19_metodicky_manual_pre_zabezpecenie-mapovania-a-agregacie-metadat.pdf)>.
- [2] ŠVECOVÁ, L.: Sprístupňovanie digitálnych dokumentov. In: Knihovny súčasnosti 2003, 2003: Sborník z 11. konferencie, Brno, 2003. s365. ISBN 80-86249-23-9 <http://sdruk.mlp.cz/data/xinha/sdruk/ks2003/2003-1-168.pdf>
- [3] Dublin Core Metadata Element Set, Version 1.1. DCMI, 14.06.2012. Web. 07.04. 2017. Dostupné na internete: <<http://dublincore.org/documents/dces/>>.
- [4] Art Information Task Force. A Review of Metadata: A Survey of Current Resource Description Formats - CDWA. Getty Art History Information Program, 10 June 1998. Web. 07 Apr. 2017. Dostupné na internete:
- [5] <[http://www.ukoln.ac.uk/metadata/desire/overview/rev\\_03.htm](http://www.ukoln.ac.uk/metadata/desire/overview/rev_03.htm)>.
- [6] HARPRING, P.: cataloging art and architecture: Introduction and Application of CDWA and CCO, Los Angeles, 2006. Dostupné na internete: <[https://www.getty.edu/research/tools/vocabularies/intro\\_to\\_cco\\_cdwa.pdf](https://www.getty.edu/research/tools/vocabularies/intro_to_cco_cdwa.pdf)>
- [7] VERLEYEN, J.: VRA Core 4.0 Restricted Schema Type Values, 2007. Dostupné na internete:<[http://www.loc.gov/standards/vracore/VRA\\_Core4\\_Restricted\\_schema\\_type\\_values.pdf](http://www.loc.gov/standards/vracore/VRA_Core4_Restricted_schema_type_values.pdf)>
- [8] Špecifikácie sémantických prvkov Europeany (ESE), Verzia 3.2.1, 2009. Dostupné na internete: <[http://www.viks.sk/digitus/Europeana\\_Semantic\\_Elements\\_specifications\\_v3.2.1\\_28s.pdf](http://www.viks.sk/digitus/Europeana_Semantic_Elements_specifications_v3.2.1_28s.pdf)>
- [9] UML-DIAGRAMS.ORG. The Unified Modeling Language [online].[cit. 2017-04-20]. Dostupné na internete: <<http://www.uml-diagrams.org/>>
- [10] BUCHALCEVOVÁ, A., PAVLÍČKOVÁ, J., PAVLÍČEK, L.: Základy softwarového inžinýrství - materiály ke cvičení. 1.vyd. Praha : Vysoká škola ekonomická, 2007. 222 s. ISBN 987-80-245-1270-9
- [11] IBM. Three-tier architectures [online].[cit. 2017-04-29]. Dostupné na internete : <[https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SS7K4U\\_8.5.5/com.ibm.websphere.zseries.doc/ae/covr\\_3-tier.html](https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SS7K4U_8.5.5/com.ibm.websphere.zseries.doc/ae/covr_3-tier.html)>.
- [12] DICKEY, J.: Write Modern Web Apps with the MEAN Stack: Mongo, Express, AngularJS, and Node.js. United States of America : Peachpit Press, 2015. 256s. ISBN-13: 978-0-13-393015-3
- [13] PING, Y., KONTOGIANNIS, K., LAU, C.: Transforming legacy Web applications to the MVC architecture, In: Software Technology and Engineering Practice, 2003. Eleventh Annual International Workshop on Software Technology and Engineering Practice, Holandsko: IEEE, 2003
- [14] MARK, P.: HTML5: Up and Running Dive into the Future of Web Development. United States of America : O'Reilly Media, 2010. 222s. ISBN 978-0-596-80602-6
- [15] FRAIN, B.: Responsive Web Design with HTML5 and CSS3. United States of America : Pact Publishing, 2012, 324s. ISBN-13: 978-1 849693189
- [16] GETBOOTSTRAP. Bootstrap [online].[cit. 2017-04-13]. Dostupné na internete : <<http://getbootstrap.com/>>.
- [17] RODRIGO, B.: Angular JS Essentials. Birmingham: Pact Publishing Ltd., 2014. 180s. ISBN 978-1-78398-008-6
- [18] Tuturialspoint. Node.js - Express Framework [online].[cit. 2017-04-13]. Dostupné na internete : <[https://www.tutorialspoint.com/nodejs/nodejs\\_express\\_framework.htm](https://www.tutorialspoint.com/nodejs/nodejs_express_framework.htm)>.
- [19] MongoDB. Data as Documents [online].[cit. 2017-04-13]. Dostupné na internete : <<https://www.mongodb.com/mongodb-architecture>>.
- [20] Provos, N., Mazières, D.: A Future-Adaptable Password Scheme. In: Proceedings of the FREENIX Track: 1999 USENIX Annual Technical Conference, Monterey, 1999. s.91-92. ISBN 1-880446-33-2
- [21] JWT – Jason Web Token [online].[cit. 2017-05-05]. Dostupné na internete : <<https://jwt.io/introduction/>>.

# Používateľské rozhranie CAVE systému na báze elektroencefalogramu

<sup>1</sup>Ladislav JACHO, <sup>2</sup>Štefan KOREČKO, <sup>3</sup>Dominik TROJČÁK, <sup>4</sup>Peter VASIL

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Katedra počítačov a informatiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>ladislav.jacho@tuke.sk, <sup>2</sup>stefan.korecko@tuke.sk, <sup>3</sup>domonik.trojcak@tuke.sk  
<sup>4</sup>peter.vasil@tuke.sk

**Abstrakt** — Komunikácia medzi človekom a výpočtovým systémom je stále vo väčšej miere prispôbovaná komunikácií medzi ľuďmi a interakcií človeka s okolitým fyzickým prostredím. Návrh a vývoj používateľských rozhraní výpočtových systémov neprezentuje človeka ako bezprostredného používateľa informačných technológií, ale ako kreatívnu bytosť, ktorej aktivity sú podporované a rozširované. Človek vplýva na prostredie, v ktorom sa nachádza a zároveň je prostredím ovplyvňovaný. Pre skúmanie vzájomnej interakcie bolo v rámci úvodných prác implementované rozširujúce rozhranie pre virtuálno-reálny systém CAVE LIRKIS s použitím EEG snímača Emotive EPOC.

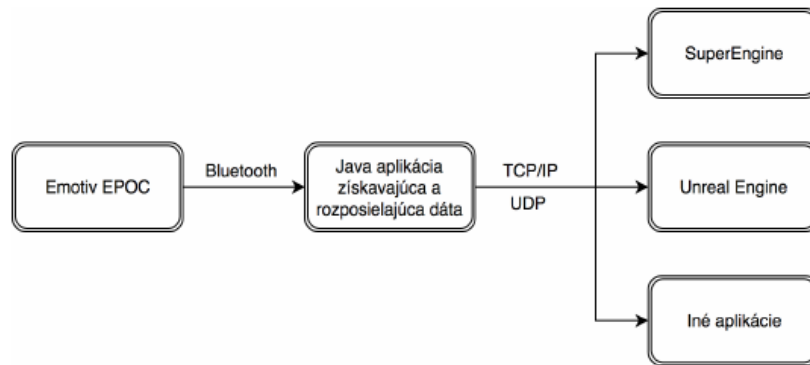
**Kľúčové slová** — CAVE, EEG, používateľské rozhranie, virtuálna realita

## I. ÚVOD

Prirodzené používateľské rozhrania (*Natural User Interface*) umožňujú používateľovi pracovať s výpočtovým systémom prostredníctvom dotyku, gest, hovoreného a písaného slova a taktiež ďalšími spôsobmi, ktorými človek komunikuje s inými ľuďmi. Vývoj takýchto typov používateľských rozhraní umožňuje zvyšujúci sa výkon výpočtových systémov, vývoj periférnych zariadení a sieťovej komunikácie. Virtuálno-reálne systémy nám umožňujú vytvárať ilúziu reálneho prostredia a tiež v danej chvíli neexistujúceho sveta s vysokým stupňom pohltienia (imerzie). Elektroencefalogram (EEG) môže slúžiť pre validáciu dôveryhodnosti vytvorených prostredí [1], vytváranie vstupov a vyvolanie zmien trojrozmerných virtuálnych scén na základe mozgovej aktivity [2] a tiež k cieľnému podnieteniu aktivity u používateľa na základe vnemov produkovaných virtuálno-reálnym systémom [3][4]. Používateľské rozhranie na báze EEG snímača môže výrazne ovplyvniť interakciu hendikepovaných ľudí v reálnom a virtuálnom prostredí [5],[6]. Pre ďalší výskum spomenutých možností využitia EEG snímača bol v rámci práce implementovaný systém pre získavanie, spracovanie, ukladanie a distribúciu dát nadobudnutých z dostupného zariadenia Emotive EPOC. Dáta boli následne použité pre vytváranie vstupov virtuálno-reálneho systému typu CAVE v Laboratóriu Inteligentných Rozhraní Komunikačných a Informačných systémov na Technickej univerzite v Košiciach.

## II. SYSTÉM PRE VYUŽITIE EEG SNÍMAČA

Prvá fáza vývoja bola zameraná na vyvolanie cieľenej zmeny virtuálnej scény na základe mozgovej aktivity používateľa. Na základe znalosti spektrálnej reprezentácie mozgovej aktivity je možné previesť istý druh tréningu a podnecovať používateľa k cieľnému sústredeniu. Pre naplnenie tohto cieľa bol použitý EEG snímač poskytujúci dáta aplikácií implementovanej v prostredí virtuálnej jaskyne *LIRKIS CAVE* využívajúcej vizualizačné jadro *SSCSuperEngine* [7]. Jaskyňa sa skladá z 20 LED monitorov s možnosťou stereoskopického zobrazenia za použitia stereoskopických okuliarov. Výpočtový výkon zabezpečuje 7 pracovných staníc prostredníctvom paralelného spracovania. Snímanie používateľa v prostredí virtuálnej jaskyne zabezpečuje systém *OptiTrack*. Hlavnou požiadavkou vytvoreného systému bola možnosť distribúcie získaných dát prostredníctvom sieťového pripojenia externým aplikáciám (implementovaných aj v iných známych vizualizačných jadrách) a taktiež ich vizualizácia s možnosťou konfigurácie - aktualizovaná v reálnom čase. Koncept systému je zobrazený na obrázku Obr. 1.



Obr. 1 Konceptuálny model systému

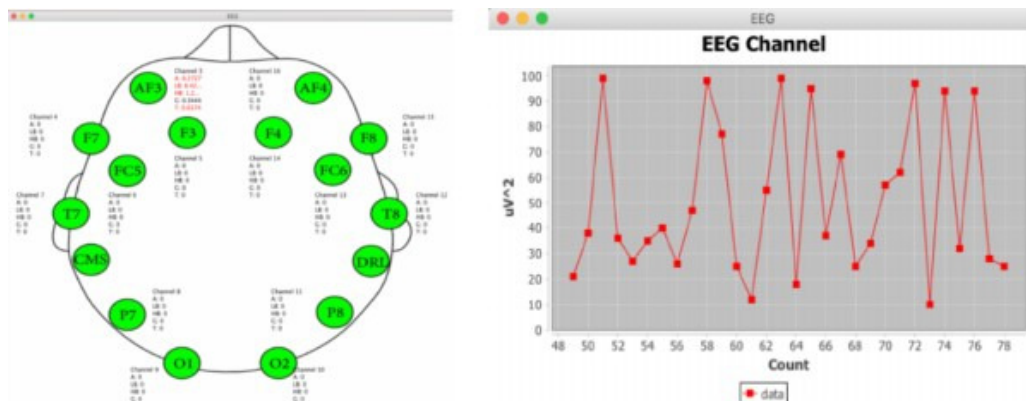
A. Aplikácia pre získavanie a rozposielanie dát

V aktuálnom stave modul pre komunikáciu so zariadením Emotive EPOC sprostredkuje hodnoty rôzno-frekvenčných mozgových vln *theta*, *alfa*, *beta* a *gama*, s frekvenčným rozsahom zobrazeným v tabuľke Tab. 1. Okrem poskytovania informácií o hodnotách jednotlivých vln bolo implementované aj distribuovanie príznakov nastavovaných na základe tenzie svalov tváre s použitím *Emotiv SDK Community Edition*. Príznaky prezentujú detekciu gest ako žmurknutie, pohľad vľavo dole, pohľad vpravo dole, úsmev a ďalšie. Vyvinutá aplikácia komunikuje so zariadením prostredníctvom spojenia *Bluetooth*.

TAB. 1  
 Tabuľka frekvenčných rozsahov spozorovateľných vln

Názov	Frekvenčný rozsah [Hz]	Výskyt
<i>Theta</i>	4-8	sny, hlboký spánok, relaxácia
<i>Alfa</i>	8-13	zatvorené oči počas bdenia, kľud, relaxácia, pocit únavy
<i>Beta</i>	13-30	vnímanie, koncentrácia, mentálna aktivita, stres
<i>Gama</i>	30-42	strach, agresivita, zlosť, analytické myslenie

Po spustení aplikácie sa otvoria 2 grafické okná. Prvé z nich slúži pre zobrazenie spozorovanej aktivity pre každý kanál zariadenia. Pre jednotlivé kanály je možné nastaviť prahové hodnoty, ktorých prekročenie je používateľovi oznámené prostredníctvom zmeny farby textu. V druhom okne používateľského rozhrania je používateľovi zobrazený graf priebehu zmeny napätí z vybraného kanálu snímača pre konkrétny typ vlnenia. Zobrazenie grafu je podmienené zmenou priloženého konfiguračného súboru. Grafické používateľské rozhranie je zobrazené na Obr. 2. Aplikácia umožňuje distribúciu dát prostredníctvom TCP a UDP protokolu. Modul je pripravený pre spracovanie spätného toku informácií o zmenách v trojrozmernej scéne na základe EEG dát. Vyhodnocované dáta budú použité pre kontextuálne vyhodnocovanie správania sa používateľa v súvislosti s konkrétnou scénou zobrazenou v systéme CAVE LIRKIS a ich ukladanie prostredníctvom relačnej databázy.



Obr. 2 vľavo - grafické používateľské rozhranie, vpravo – zobrazenie časového priebehu zmien napätia

### B. Aplikácia pre sprostredkovanie výstupov

Súčasť bola vyvíjaná vo vizualizačnom jadre *SSCSuperEngine* s možnosťou skriptovania trojrozmerných scén prostredníctvom jazyka *Ruby*. Demonštračná aplikácia s prvkami počítačovej hry obsahuje scénu, v ktorej sa používateľ pohybuje prostredníctvom štandardných periférnych zariadení (myš, klávesnica, gamepad) a pre interakciu s objektmi využíva mimiku tváre. Interaktívnymi prvkami sú dvere, ktoré používateľ otvára na základe vyššie definovaných gest. Informáciu o geste, ktoré je potrebné vykonať sa dozvie na základe textu v ľavej spodnej časti. Scéna je modifikovateľná spájaním preddefinovaných častí chodieb. Modul disponuje funkciou odosielania zmien scény externým aplikáciám. Výhodou je možnosť spustenia aplikácie v imerzívnom systéme CAVE LIRKIS zobrazenom na Obr. 3 a tiež na jednom počítači.



Obr. 3 Virtuálno-reálny systém CAVE LIRKIS

### III. ZÁVER

Článok prezentuje úvodné práce na aplikácií slúžiacej k ďalšiemu skúmaniu interakcie medzi človekom a prostredím prostredníctvom EEG snímača s využitím známych vizualizačných jadier. EEG snímač bude použitý pre vytváranie kontrolovaných príkazov pre vyvolanie zmeny scény a taktiež k sledovaniu mozgovej aktivity na základe nepodmienených zmien. Takto vyvinuté používateľské rozhranie môže byť použiteľné pre fyzicky hendikepovaných ľudí a taktiež k sledovaniu mozgovej aktivity používateľa reagujúceho na podnety prostredia. Ďalším krokom bude vývoj serverovej časti, ktorá bude použitá pre vyhodnocovanie EEG signálov s kontexte so vstupmi syntetizovaného prostredia.

### POĎAKOVANIE

Táto práca je dopadom realizácie projektov: Centrum informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy (kód ITMS projektu: 26220120020) a Rozvoj Centra informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy (kód ITMS projektu: 26220120030) na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

### ZDROJE

- [1] G. Vecchiato et. al., „Electroencephalographic Correlates of Sensorimotor Integration and Embodiment during the Appreciation of Virtual Architectural Environments“, in *Frontiers in Psychology*, vol. 22, 2015, 1664-1078
- [2] A.-S. Royer et. al., „EEG Control of a Virtual Helicopter in 3-Dimensional Space Using Intelligent Control Strategies“ in *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol 18, issue: 6, pp. 581-589, 2010, 1534-4320

- [3] Ch.-J. Wilson, A. Soranzo, „The Use of Virtual Reality in Psychology: A Case Study in Visual Perception“ , in Computational and mathematical methods in medicine, 2015, 1748-6718
- [4] M.-M. North et.al, „Virtual reality therapy“ in: Computer-Assisted and Web/Based Innovations in Psychology, 2016,ISBN 9780129021095
- [5] G. Edlinger et.al, „Brain-computer interfaces for goal oriented control of a virtual smart home environment“, in Neural Engineering, 2009, pp. 463-469, 17412560
- [6] L. Jacho, „Context-perceptive Human Computer Interface for Smart Environment“ in SCYR 2015, Košice TU, 2015, pp. 32-35. ISBN 978-80-553-2130-1
- [7] SLOVAKIA SUPER COMPUTERS, online: <http://www.supercomputers.sk/sk/superengine>

# Klasifikácia pacientov trpiacich Parkinsonovou chorobou pomocou metód dolovania v dátach

Michal VADOVSKÝ, Ján PARALIČ, Tomáš KUDRÍK

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská republika

michal.vadovsky@tuke.sk, jan.paralic@tuke.sk, tomas.kudrik@student.tuke.sk

**Abstract** — Tento článok popisuje prácu, ktorej cieľom bolo pomocou dolovania v dátach objaviť poznatky o Parkinsonovej chorobe. Pritom sme použili metodiku CRISP-DM. V článku najprv uvedieme základné informácie o Parkinsonovej chorobe ako sú hlavné príznaky, jednotlivé štádia, liečba a pod.. Následne popíšeme princíp objavovania znalostí v databázach, jeho základné pravidlá a jednotlivé časti, najmä použitú metodiku CRISP-DM. V hlavnej časti článku popisujeme jednotlivé časti metodiky CRISP-DM tak ako sme ich aplikovali na vybrané dáta o pacientoch s Parkinsonovou chorobou. Pre implementáciu sme použili programovací jazyk R. Postupne sú dáta vybrané, preskúmané, upravené a následne sa vykoná modelovanie. Výsledok modelovania je vyhodnotený a nasadený do aplikácie vytvorenej v prostredí RShiny. Tento článok zahŕňa taktiež prehľad tých najdôležitejších poznatkov, ktoré vzišli z výsledkov našich analýz a hlavné prínosy tejto práce.

**Keywords** — Parkinsonova choroba, dolovanie v dátach, objavovanie znalosti, rozhodovacie stromy

## I. ÚVOD

Preniesť tanier s polievkou, sadnúť si za stôl a v pokoji sa najesť. Úplne bežná činnosť pre zdravého človeka, nie však pre pacienta trpiaceho Parkinsonovou chorobou. Toto chronické, pomaly sa rozvíjajúce ochorenie mozgu je spôsobené stratou nervových buniek produkujúcich dopamín, ktorý prenáša signály do mozgu a riadi koordináciu svalov a pohybu [1]. Táto strata dopamínu spôsobuje motorické poruchy a tak deň čo deň musia ľudia s touto diagnózou bojovať pri činnostiach, ktoré sú pre bežného človeka samozrejme.

Najhoršie na tom je, že títo ľudia musia žiť so skutočnosťou, že ich súčasný stav sa bude len zhoršovať, keďže liek na vyliečenie tejto choroby v súčasnosti neexistuje. Jediné čo dnes môžeme je túto chorobu len potlačiť a spomaliť jej rozšírenie, na to je ale veľmi dôležitá včasná diagnostika a začiatok liečby. Ešte horšie je, že počet ľudí trpiacich touto chorobou stále stúpa. Práve preto je nutné pomôcť pri hľadaní odpovede na to, ako túto chorobu včas identifikovať a verme, že raz aj vyliečiť. Využiť nato v súčasnej dobe môžeme aj dolovanie v dátach.

Dolovanie v dátach sa v dnešnej dobe využíva často v rôznych odvetviach, medzi ktoré patrí aj medicína. Hľadajú sa ním určité závislosti medzi vlastnosťami jednotlivých skupín pacientov, skúma sa vplyv liekov, pomáha doktorom pri diagnostikovaní choroby alebo pri určení vhodnej liečby. Záber možnosti využitia dolovania v dátach je obrovský a bola by chyba, ak by sa dolovanie v dátach nevyužilo aj pri Parkinsonovej chorobe.

Práve preto sme sa aj v našom článku venovali práve tejto téme, hľadali sme nové doposiaľ nepoznané informácie o Parkinsonovej chorobe a o ľuďoch, ktorí ňou trpia. Využívali sme pritom programovací jazyk R, ktorý je vhodný na analýzu dát. Na prácu sme použili program RStudio a so získanými dátami sme pri ich analýze postupovali podľa metodológie CRISP-DM

## II. PARKINSONOVA CHOROBA

Doposiaľ nepoznáme odpoveď na to, čo vedie k vzniku Parkinsonovej choroby. Často sa v povedomí ľudí spája s trasením končatín a staršou vekovou kategóriou (50 rokov a viac). V dnešnej dobe sa ale v čoraz väčšom množstve vyskytuje aj u mladších ľudí. Symptómy sa rôznia od pacienta k pacientovi, nie každý má začiatok aj priebeh choroby rovnaký. Vo všeobecnosti ale poznáme štyri hlavné príznaky Parkinsonovej choroby [2]:

- tremor (tras najčastejšie v rukách, prípadne v nohách a tvári)

- rigidita (stuhnutosť celého tela, hlavne končatín)
- bradykinéza (spomalenosť pohybov)
- posturálna instabilita (porucha rovnováhy a postoja)

V začiatkoch ochorenia sa tieto štyri príznaky vôbec nemusia vyskytnúť, preto je včasná diagnóza veľmi ťažká. Postupom času sa ale tieto príznaky prejavujú, dokonca sa pridružujú aj ďalšie ťažkosti. Podľa hodnotiacej stupnice od Hoehna a Yahra [3] sa rozdeľujú štádiá Parkinsonovej choroby do piatich kategórií. Začiatok choroby spravidla sprevádza jednostranné postihnutie tela alebo končatín, ktoré sa postupne rozširuje do zvyšku tela a stále viac sa prejavujú už spomínané hlavné príznaky. Choroba sa šíri až do úplného postihnutia tela a končí úplnou imobilitou pacienta.

Liečba na potlačenie choroby je v súčasnosti už dosť dobre vyvinutá, avšak lekári často nedokážu v klinickom prostredí určiť ideálnu liečbu. Hlavným dôvodom je to, že pacienti navštevujú svojho lekára vo väčších časových intervaloch (raz alebo dvakrát za polrok), pričom pri tejto chorobe by bolo ideálne každodenné sledovanie pacienta. Je nutné pozorovať symptómy a účinnosť liekov vo všetkých fázach dňa, ako aj zamerať sa na každého pacienta individuálnym spôsobom. Lekár ale z klinického prostredia a pri tak malom počte vyšetrení nedokáže odhadnúť ani predvídať, ako bude daná liečba vplývať na človeka v bežnom živote. Človeka s Parkinsonovou chorobou ovplyvňujú aj malé zmeny ako stres, zmeny prostredia či dĺžka spánku. Preto sa v dnešnej dobe do popredia dostávajú nové spôsoby interakcie pacienta s lekárskou a vedeckou obcou.

Jednou z takýchto interakcií bola aj aplikácia mPower zameraná na zbieranie dát priamo od pacientov z ich domova pomocou ich smartphonov. Práve dáta vyzbierané v tejto aplikácii sme použili pri našom dolovaní v dátach.

### III. ĎALŠIE APLIKÁCIE PRE ZBER DÁT

Okrem aplikácie mPower existuje aj množstvo podobných aplikácií (napríklad PD Me, LIFT Pulse a Parkinson's Central), ktoré slúžia na zber dôležitých dát od pacientov s Parkinsonovou chorobou. Zozbierané dáta z týchto aplikácií môžu byť následne použité pre vykonanie rôznych analýz, pomocou ktorých vedú lekári lepšie pochopiť existujúce problémy pacientov a zvoliť vhodný liečebný postup.

PD Me [4] je mobilná aplikácia, ktorá predstavuje nový spôsob merania rôznych faktorov u ľudí, ktorí majú Parkinsonovu chorobu. Za vývojom aplikácie stojí americká firma Belles Farm LLC. PD Me umožňuje plne využiť technológie a senzory v smartfónoch, a tak rýchlo a ľahko identifikovať problémy súvisiace s PCH. Sledujú sa problémy s pamäťou, rovnováhou, doba reakčného času a časového vnímania cvičení. Všetky tieto informácie zhromaždené v aplikácii sú súkromné a dôverné. Nie sú poskytnuté tretím stranám bez súhlasu používateľa.

Lift Pulse [5] je taktiež mobilná aplikácia vytvorená spoločnosťou Lift Labs, ktorá identifikuje, zaznamenáva a vypočítava rozsah trasenia rúk používateľa prostredníctvom zabudovaných senzorov v telefóne. Umožňuje si zaznamenané výsledky uložiť v denníku, ktorý tiež obsahuje informácie o užívaných liekoch, dĺžke spánku, cvičeniach a strese pacienta. Všetky tieto údaje sú anonymne uložené v zabezpečenej databáze spoločnosti Lift Labs, kde sú následne neustále analyzované, a tak sú poskytnuté používateľom prehľady ako jednotlivé zmeny ovplyvňujú úroveň trasenia rúk. Doteraz používatelia aplikácie využili funkciu na zmeranie trasy rúk už takmer 4 000 krát a toto číslo neustále rastie. Na základe získaných dát od používateľov sa podarilo zistiť, že cvičenie zhoršuje amplitúdu trasenia rúk a ľudia, ktorí uvádzajú v aplikácii menej stresu, majú menej závažné príznaky trasy.

Parkinson's Central [6] je mobilná aplikácia s cieľom posilniť postavenie ľudí s PCH a pomôcť im prevziať kontrolu nad chorobou. Ide o akúsi encyklopédiu problémov o liečbe PCH. Hlavným cieľom je zodpovedať otázky ohľadom symptómov choroby, liekov a celkovom životnom štýle s PCH. Tiež zahŕňa informácie o financiách špeciálnych služieb na opatrovanie chorých.

### IV. DOLOVANIE V DÁTACH

Ak hovoríme, že sme vykonávali v našej práci dolovanie v dátach, znamená to vykonanie procesu objavovania znalostí z databáz. Dolovanie v dátach (Data Mining) je len jedna z fáz objavovania znalostí z databáz, ktorá sa zameriava na hľadanie charakteristických vzorov v dátach v rôznych formách (klasifikačné pravidlá, stromy, regresia, atď.).

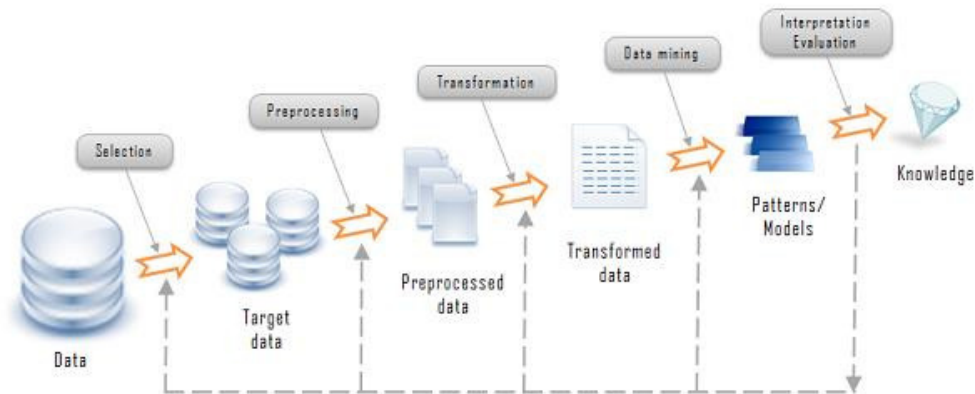
Samotný proces objavovania znalostí v databázach (KDD – Knowledge Discovery in Databases) [7] je semi-automatizovaný proces extrakcie znalosti z databáz, pričom dané znalosti musia spĺňať tieto vlastnosti:

- platnosť (v štatistickom zmysle),

- neznámosť (doposiaľ neboli poznané),
- užitočnosť (musia byť užitočné pre dané použitie).

Tento proces objavovania sa skladá z mnohých krokov, ktoré za sebou nasledujú. Samotný proces nie je plne automatický a vyžaduje asistenciu človeka. Ten jediný môže rozhodovať o správnom výbere operácií a algoritmov potrebných pri jednotlivých krokoch objavovania znalostí. Len človek vie určiť, či daný proces dosahuje požadované výsledky v podobe cenných znalostí, či môže priniesť reálny zisk alebo či je daná znalosť nová a kvalitná pre aplikovanie do skúmaných oblastí.

Existuje viacero autorov, ktorí sa snažili zaznamenať jednotlivé kroky procesu objavovania znalostí v databázach. Každý autor sa na tento proces díval z iného uhla a jednotlivé kroky pomenoval rôznymi názvami. Na obrázku (Obr. 1) je vidno popis krokov jednotlivých fáz objavovania znalostí z databáz a to konkrétne podľa Usama Fayyada a kol. [8].



Obr. 1 Kroky KDD podľa U. Fayyada [8]

## V. DOLOVANIE V DÁTACH

Pre nutnosť štandardizácie procesu objavovania znalostí vznikla metodológia CRISP-DM v roku 1997 [9]. Cieľom tohto projektu bolo umožniť riešenie rozsiahlych úloh objavovania znalostí z databáz efektívnejšie, rýchlejšie a s menšími nákladmi. Práve touto metodológiou sme sa riadili aj v našej práci.

Štandardizácia CRISP-DM určuje svoj životný cyklus objavovania znalostí ako 6 úzko prepojených fáz:

- Porozumenie problému (Business Understanding)
- Pochopenie dát (Data Understanding)
- Príprava dát (Data Preparation)
- Modelovanie (Modeling)
- Vyhodnotenie výsledkov (Evaluation)
- Využitie výsledkov a ich nasadenie (Deployment)

Výsledok, ktorý sa dosiahne v jednej fáze má za následok zmenu v nasledujúcom kroku, čo znamená že je často potrebný prechod oboma smermi (potreba sa vrátiť k predchádzajúcim krokom).

## VI. DOLOVANIE V DÁTACH Z APLIKÁCIE MPOWER

Ak išlo o samotnú analýzu dát pacientov s Parkinsonovou chorobou vykonávali sme prácu pomocou programovacieho a štatistického jazyka R v prostredí RStudio. Samozrejme ako už bolo spomenuté postupovali sme podľa procesného modelu CRISP-DM. A to konkrétne v nasledujúcich krokoch:

### A. Pochopenie cieľa a porozumenie problematike:

V tejto časti sme si stanovili primárne ciele tejto práce, a to priniesť možnosť vo väčšej miere pochopiť Parkinsonovu chorobu z pohľadu určitej analýzy na veľkej množine pacientov. Kritériom úspešnosti v tomto prípade by boli nové, doposiaľ nezistené znalosti, ktoré napomôžu možno aj lekárom ale v prvom rade poskytnú širokej verejnosti možnosť porozumieť problematike tejto choroby. Preto sme si stanovili aj cieľ vytvoriť webovú aplikáciu, ktorá by obsahovala výsledky našej práce v ľahko prístupnej a pochopiteľnej podobe.

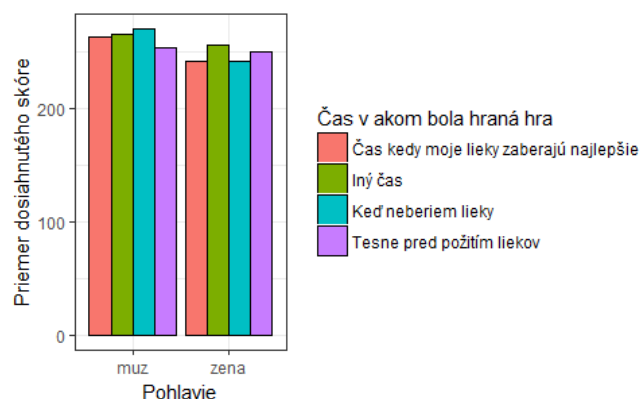
### B. Pochopenie dát

Ako už bolo spomínané prácu sme vykonávali na dátach získaných z aplikácie mPower, ktorá obsahovala šesť datasetov. My sme sa zamerali len na tri z nich zaznamenávajúce demografické



údaje pacientov (33 atribútov a 6805 riadkov), odpovede pacientov na otázky týkajúce sa toho, ako sa cítili pri každodenných činnostiach (28 atribútov a 2305 riadkov) a záznamy z hry nachádzajúcej sa v tejto aplikácii, ktorej cieľom bolo overiť pamäťové schopnosti používateľov aplikácie (14 atribútov a 8569 riadkov). V každej z týchto samostatných tabuliek sa nachádzalo 7 atribútov zaznamenávajúcich všeobecné ID a kódy pacientov spolu s typom smartphonu, na ktorom vyplňali osobné údaje. Samotné dáta sme preskúmali z kvalitatívnej stránky, ale taktiež sme v tejto časti vykonali prvé analýzy. Prvou bol pokus o nájdenie priemerného času medzi tým, kedy pacient začne pociťovať príznaky Parkinsonovej choroby, a tým kedy začne naozaj poberať lieky. Možno triviálna záležitosť, ale určite veľmi dôležitá, keďže to, ako včas sa začnú pacienti na túto chorobu liečiť, ovplyvní rýchlosť napredovania choroby.

Samozrejme v tejto časti sme hľadali aj určité závislosti, ktoré by sme mohli využiť v nasledujúcich častiach práce, no hlavnou analýzou bola tá, ktorá sa zamerala na pamäťové schopnosti pacientov. Medzi rôznymi skupinami pacientov rozdelenými napr. podľa pohlavia alebo fajčenia či nefajčenia, sme hľadali závislosti medzi liekmi a horšími výsledkami dosiahnutými v hre zameranej na pamäť. Sledovalo sa rozmedzie skóre dosiahnuté v hre a takisto čas kedy bola hraná hra z hľadiska účinnosti liekov počas dňa. Na Obr. 2 si môžeme všimnúť dosiahnuté skóre v hre zameranej na pamäť, pričom graf je rozdelený podľa pohlavia a vplyvu užívaných liekov.



Obr. 2 Graf zobrazujúci dosiahnuté skóre pacientov v hre zameranej na pamäť

### C. Príprava dát

Už z pochopenia dát nám bolo jasné, že dáta sú v značnej miere nekonzistentné. Obsahovali veľké množstvo chýbajúcich (N/A) hodnôt, takisto množstvo nič nevraviacich údajov nedôležitých pre našu prácu a analýzu a záznamy, ktoré boli na prvý pohľad nepravdivé.

V tejto časti sme sa zamerali práve na odstránenie nájdených nedostatkov v našich dátach, tak aby následne mohli byť vhodné na proces modelovania. Taktiež pre potreby komplexnej analýzy našej práce sme generovali nové datasety kombinovaním všetkých datasetov, ktoré sme si zvolili na začiatku. Ako kľúč pre spojenie dát sme používali atribút healthCode, ktorý bol jedinečný identifikátor každého pacienta. Celkovo sa dá povedať, že táto časť nám zabrala veľké množstvo času, dalo by sa povedať minimálne polovicu z celkového času stráveného pri celom procese analýzy dát.

### D. Modelovanie

Hlavnou časťou celej práce bol experiment, v ktorom sme sa pokúšali o predikciu atribútu, ktorý nám hovorí, či pacient má alebo nemá diagnostikovanú Parkinsonovu chorobu. K vytvoreniu tohto experimentu nás doviedol fakt, že práve skoré diagnostikovanie choroby u pacienta môže v značnej miere prispieť k spomaleniu rozvoja choroby.

Predikciu sme vykonávali pomocou rozhodovacích stromov. Je to jedna z najobľúbenejších techník prediktívneho dolovania v dátach. Hlavným dôvodom je prehľadnosť a jednoduchá interpretácia, ktorá umožňuje užívateľom rýchlo a ľahko vyhodnocovať získané výsledky [10]. Rozhodovacie stromy sa používajú ako nástroj klasifikácie aj predikcie. Skladajú sa z medziľahlých uzlov (vybrané popisné atribúty), listových uzlov (hodnoty atribútu triedy) a hrán (test vybraného atribútu – výstupné hrany daného uzla pokrývajú všetky možnosti hodnôt) [11]. Rozhodovacie pravidlo predstavuje postup testov od koreňového uzla po listový. Na samotné vytváranie modelov sme si zvolil balíky programovacieho jazyka R: rpart, randomForest, party. V jednotlivých modeloch sme menili pomer trénovacej a testovacej množiny a to na pomery 60:40, 70:30 a 80:20. Menili sme takisto aj množinu atribútov, podľa ktorých sa samotný cieľový atribút predikoval. Na nájdenie ideálnej skupiny, podľa ktorej sa bude predikovať sme používali balík jazyka R s názvom FSelector. V ňom sme zvolili na nájdenie ideálnej skupiny funkciu

*information.gain* na výpočet významu jednotlivých diskretných atribútov s atribútom klasifikačnej triedy [11].

Samotné modely sme vytvárali na viacerých skupinách pacientov. Tak ako pri analýze pamäťových schopností vytvorenej v časti pochopenie dát, sme každý model aplikovali najprv na všetkých pacientov a následne zvlášť na mužoch, ženách, fajčiaroch a nefajčiaroch.

Cieľom všetkých vymenovaných krokov bolo nájsť model s čo najvyššou presnosťou predikcie. Pre kontrolu sme takisto pomocou balíka Caret vykonali aj krížovú validáciu.

testPred	false	true
false	1607	80
true	28	227

Obr. 3 Kontingenčná tabuľka – všetci pacienti (94,44%)

testPred	false	true
false	1175	29
true	145	168

Obr. 4 Kontingenčná tabuľka – muži (88,53%)

testPred	false	true
false	383	25
true	35	126

Obr. 5 Kontingenčná tabuľka – ženy (89,46%)

testPred	false	true
false	625	21
true	99	115

Obr. 6 Kontingenčná tabuľka – fajčiari (86,05%)

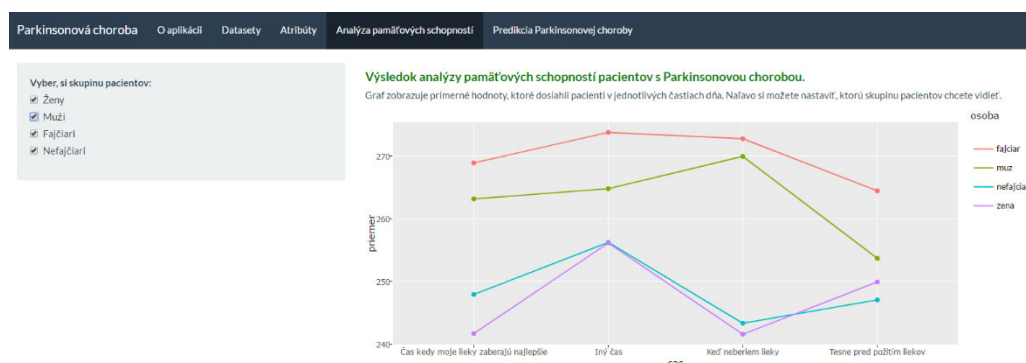
testPred	false	true
false	915	32
true	147	189

Obr. 7 Kontingenčná tabuľka – nefajčiari (86,05%)

Po vytvorení súhrnu výsledkov z dvadsiatich modelov vyšli najlepšie výsledky s presnosťou v rozmedzí od 89,46% (v skupine žien) po 94,49% (v skupine všetkých pacientov). Pre ešte lepšie ohodnotenie modelov sme vytvorili kontingenčné tabuľky s najvyššou presnosťou v jednotlivých skupinách pacientov (Obr. 3, Obr. 4, Obr. 5, Obr. 6, Obr. 7). Hodnoty true/false v riadkoch sú predikované triedy vytvorených modelov a hodnoty true/false v stĺpcoch sú známe triedy z testovacej množiny. Z týchto tabuliek je jasne viditeľné, ktoré modely sa najviac mýlili a akým spôsobom. V popise tabuľky je taktiež pridaná presnosť modelov na základe danej kontingenčnej tabuľky.

#### E. Vyhodnotenie výsledkov a nasadenie

Výsledky analýzy pamäťových schopností pacientov by mohli napovedať, že lieky na Parkinsonovú chorobu môžu vplývať negatívne na ľudskú pamäť. Následne vo fáze nasadenia sme vybrali tie najlepšie analýzy v našej práci spolu najpresnejšími modelmi a vložili sme ich do webovej aplikácie. Tá slúži práve na čo najzrozumiteľnejšiu vizualizáciu novo získaných znalostí z našej práce. Táto aplikácia bola vytvorená v programe RStudio a na nasledujúcom obrázku je ukážka z nej (Obr. 8).



Obr. 8 Ukážka aplikácie

## VII. ZÁVER

Z celkového hľadiska sa dá povedať, že ciele ktoré sme si dali na začiatku práce boli splnené. Samozrejme je pre nás dosť zložité posudzovať naše výsledky z medicínskeho hľadiska. Môžeme ale povedať, že výsledky, ktoré sme dosiahli pri našich analýzach stoja za odbornejšie preskúmanie do budúcnosti. Napríklad doba dva roky, čo bol zistený poznatok pri analýze, v ktorej sme hľadali priemerný čas medzi začiatkom choroby a začiatkom poberania liekov, nie je malý.

Z tohto dôvodu aj snaha predikovať práve diagnózu, či pacient má alebo nemá chorobu sa zdá ako opodstatnená. Výsledky majú veľmi dobrú presnosť a môžu naznačiť to aké prvky pri predikovaní cieľového atribútu nemali veľký alebo žiaden vplyv. Napríklad údaje o fajčení mali na predikciu skoro nulový vplyv. Taktiež nám určite každý pacient s touto chorobou dá za pravdu, že lieky spomaľujúce rozširovanie choroby sú veľkým prínosom. Avšak nakoľko lieky pomáhajú, ak ovplyvňujú pri liečbe Parkinsona pamäť pacienta? Práve negatívny vplyv liekov na pamäť pacientov vyplývajúci z našej analýzy naznačil to, že by pacienti mali zvážiť aké lieky budú poberať a aký dopad budú mať ich vedľajšie účinky na ich zdravotný stav. Určite tieto informácie nie sú jediné, ktoré by sa dali z našej práce získať, a dolovanie v dátach by mohlo v tejto chorobe ešte v budúcnosti veľa napomôcť.

#### POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt "Centrum informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy" (kód ITMS:26220120020), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

#### LITERATÚRA

- [1] KLUBUSOVA, Svatava: Parkinsonova choroba z pohľadu všeobecnej sestry: Bakalárska práca. Zlín: UTB, 2013. 90s.
- [2] SIVAGAMI, G., GEETHA RAMANI, R.: Parkinson Disease Classification using Data Mining Algorithms, International Journal of Computer Applications, 2011. Dostupné na internete: <<https://pdfs.semanticscholar.org/e89b/cbbc3dca714b0e1be724f7a92126311b1f3c.pdf>>
- [3] The FIVE Stages of Parkinson's disease [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné na internete: <<http://parkinsonsresource.org/wp-content/uploads/2012/01/The-FIVE-Stages-of-Parkinsons-Disease.pdf>>.
- [4] PD Me By Belles Farm LLC [online]. [cit. 2017-07-20]. Dostupné na internete: <<https://itunes.apple.com/us/app/pd-me/id927178736?mt=8>>.
- [5] DYE, Rebecca: Lift Pulse 2.0 [online]. [cit. 2017-07-20]. Dostupné na internete: <<http://tremortalk.org/lift-pulse-2-0/>>.
- [6] Parkinson's Central Smartphone App [online]. [cit. 2017-07-20]. Dostupné na internete: <<http://www.parkinson.org/find-help/education/parkinsonscentral-smartphone-app>>.
- [7] PARALIČ, Ján: Objavovanie znalostí v databázach. Prvé vydanie. Košice: Elfa, 2003. 80 s. ISBN 80-89066-60-7.
- [8] Knowledge Discovery and Data Mining [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné na internete: <<http://www.rithme.eu/?m=home&p=kdprocess&lang=en>>.
- [9] SHEARER Colin: The CRISP-DM Model: The New Blueprint for Data Mining, 2000. Dostupné na internete: <<https://mineraodados.files.wordpress.com/2012/04/the-crisp-dm-model-the-new-blueprint-for-data-mining-shearer-colin.pdf>>.
- [10] BUTKA, Peter: Podniková analytika. Prednáška č. 6. Technická univerzita v Košiciach. [cit. 2017-04-23].
- [11] ROMANSKI, Piotr; KOTTHOFF, Lars: Package 'FSelector' - Selecting Attributes, 2016, Dostupné na internete: <<https://cran.r-project.org/web/packages/FSelector/FSelector.pdf>>.

# Metódy dolovania v dátach pre včasnú diagnostiku Parkinsonovej choroby

*Michal VADOVSKÝ, Ján PARALIČ, Peter KULBAGA*

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská

michal.vadovsky@tuke.sk, jan.paralic@tuke.sk, peter.kulbaga@student.tuke.sk

**Abstract** — Tento článok sa zaoberá problematikou objavovania znalostí z dát. Popisuje rôzne techniky a metódy, ktoré sa v súčasnosti využívajú v procese dolovania v dátach a problémy, s ktorými sa v tomto procese najčastejšie stretávame. Cieľom našej práce bolo upraviť a následne analyzovať dáta, ktoré pochádzali z výskumu zameraného na diagnostikovanie Parkinsonovej choroby prostredníctvom analýzy hlasových vzoriek pacientov. Hlavnou časťou bolo z daných dát vytvoriť čo najlepšie predikčné modely, ktoré by mohli byť prínosom v oblasti diagnostiky Parkinsonovej choroby. Práca s dátami, analýza a následná tvorba modelov bola vykonaná v programovacom jazyku R. V poslednej časti článku sa nachádzajú výsledky a vyhodnotenie vytvorených predikčných modelov.

**Keywords** — Objavovanie znalostí, dolovanie v dátach, Parkinsonova choroba, predikčné modely

## I. ÚVOD

Hlavným cieľom práce prezentovanej v tomto článku bolo upraviť a následne analyzovať dáta, prostredníctvom ktorých by bolo možné včasne diagnostikovať Parkinsonovu chorobu. Po naštudovaní problematiky Parkinsonovej choroby sme zistili, že je veľmi dôležité, aby bola diagnostikovaná včas. Preto sme sa rozhodli analyzovať dáta, ktoré pochádzali z výskumu zameraného na diagnostiku Parkinsonovej choroby prostredníctvom detekcie hlasových vzoriek pacientov.

Okrem tohto hlavného cieľa bolo taktiež potrebné objasniť problematiku Parkinsonovej choroby a oboznámiť sa so spôsobmi diagnostiky a liečby, ktoré sa v súčasnosti v oblasti Parkinsonovej choroby využívajú. Parkinsonova choroba je progresívne neurodegeneratívne ochorenie. Toto ochorenie vzniká v dôsledku nedostatku látky s názvom dopamín v určitých častiach mozgu. Dopamín slúži ako prenášač biologickej informácie medzi bunkami. Človek sa narodí asi so 400 000 bunkami (neurónmi), ktoré produkujú dopamín. U zdravého dospelého človeka zanikne ročne asi 6% týchto neurónov, avšak u ľudí trpiacich Parkinsonovou chorobou je strata týchto buniek výrazne urýchlená. Prvé symptómy sa objavujú až vtedy, keď pôvodné množstvo neurónov klesne pod 20% pôvodnej úrovne a taktiež prestanú fungovať kompenzačné mechanizmy [1]. Medzi základné symptómy môžeme zaradiť:

- pokojový tras predovšetkým na rukách, niekedy nohách a tvári
- stuhnutosť paží, nôh a trupu
- spomalenosť pohybov
- zlá rovnováha a koordinácia

V priebehu 80. rokov minulého storočia bola vytvorená zjednocujúca hodnotiacia škála UPDRS (Unified Parkinson's Disease Rating Scale). Tá sa stala základným nástrojom klinického hodnotenia Parkinsonovej choroby. UPDRS bola vytvorená s cieľom zaznamenávať pacientove výsledky pri absolvovaní testu u svojho lekára [2]. V roku 2008 bola vydaná nová vylepšená verzia UPDRS s názvom MDS-UPDRS (Movement Disorder Society – Unified Parkinson's Disease Rating Scale). Táto nová verzia zachovala pôvodnú štruktúru škály UPDRS, avšak vylepšila jej nedostatky súvisiace s nemotorickými prejavmi, ktorých hodnotenie spočívalo vo výbere možnosti áno/nie čo nebolo dostačujúce. Taktiež sa v MDS-UPDRS lepšie špecifikovali inštrukcie pre vyšetrujúceho lekára a pacienta. MDS-UPDRS taktiež pozostáva zo 4 častí rovnako, ako pôvodná škála UPDRS, no jej interné časti boli mierne upravené. Všetky položky UPDRS sú hodnotené na 5-bodovej škále od 0 po 4 [3]. Podľa výslednej sumy bodov sa určí stupeň ochorenia u pacienta.

## II. ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU

V súčasnosti existuje niekoľko výskumov, ktoré sa zaoberajú analýzou dát súvisiacich s Parkinsonovou chorobou. Parkinson's Progression Markers Initiative (PPMI) je jeden z najväčších výskumov, ktoré existujú v oblasti Parkinsonovej choroby. PPMI je zameraná na štúdium počiatočného štádia Parkinsonovej choroby, pričom zbiera biologické vzorky moču, krvi a mozgovomiechového moku (CSF) od účastníkov, ktorí sa zapojili do danej štúdie. Do štúdie sú zapojení zdraví účastníci a aj ľudia, u ktorých sa vyskytuje Parkinsonova choroba v počiatočnej fáze. Všetky údaje získané od účastníkov výskumu PPMI sú k dispozícii na ich internetovej stránke. Pretože PPMI je pozorovacia štúdia, výskumní dobrovoľníci neberú žiadny experimentálny liek alebo placebo a súhlasia s tým, že svoje údaje a vzorky budú poskytovať v období piatich rokov. Každý, kto požiada o údaje PPMI, je každoročne vyzvaný k tomu, aby podal správu o vykonaných analýzach. Tieto informácie sa zozbierajú a následne sú poskytnuté na webovej stránke PPMI [4]. Dáta z tejto štúdie využili pri svojom výskume Vincent Nquyen, VaniaSung, JasonWang, pričom využili rôzne techniky, ktoré sa využívajú v oblasti dolovania v dátach, pričom sa zamerali na tieto dve úlohy:

1. Zlepšenie výberu pacientov pre klinické skúšky (neurónové siete + zhlukovanie)
2. Dokázať predpovedať progresiu ochorenia (PCA + neurónové siete)

Autori využili techniky dolovania v dátach a vytvorili klasifikátor, ktorý dokázal identifikovať pacientov s Parkinsonovou chorobou od zdravých pacientov s 92.5% presnosťou. Na základe súčasného stavu pacientov dokázali predikovať, ako sa budú vyvíjať ich motorické schopnosti v priebehu jedného roka. Využili dataset, ktorý obsahoval informácie o 668 pacientoch, pričom 452 z nich trpelo Parkinsonovou chorobou [5].

V ďalšej práci [6] sa A. Tsanas a opäť M. A. Little s kol. zamerali na problematiku a zdĺhavosť vyšetrenia pacientov vyškoleným zdravotníckym personálom za účelom určenia štádia Parkinsonovej choroby pomocou metriky UPDRS (Unifikovaná škála Parkinsonovej choroby). Táto škála môže nadobúdať hodnoty od 0 – 176, pričom 0 reprezentuje zdravých pacientov a 176 najviac postihnutých týmto ochorením. UPDRS sa skladá z troch základných častí: 1. Duševný stav, správanie a nálada pacienta, 2. Aktivity každodenného života a 3. Motorické funkcie pacienta. Posledná časť UPDRS môže nadobudnúť hodnoty od 0 – 108, kde 0 označuje žiadne príznaky a 108 závažne poruchy motorických funkcií (reč, mimika, tras, tuhosť). Reč zachytávajú dve časti metriky a zodpovedajúci rozsah hodnotenia je medzi 0-8, pričom 8 prezentuje úplnú nezrozumiteľnosť. Dáta, s ktorými autori pracovali obsahovali záznamy od 52 subjektov, ktoré boli zozbierané v spolupráci rôznych amerických centier. Všetci pacienti podali písomný súhlas na spracovanie ich dát, pričom autori museli nakoniec odstrániť záznamy od 10 subjektov – 2 z nich ukončili túto štúdiu predčasne a 8 poskytli nedostatočné testovacie dáta. Nakoniec teda použili dáta od 42 pacientov s Parkinsonovou chorobou (28 mužov, 14 žien), ktorí mali toto ochorenie diagnostikované počas posledných piatich rokov. Všetky subjekty boli 6 mesiacov bez rôznych liekov počas celej štúdie. Dáta boli zozbierané použitím nástroja Intel At-Home Testing Device (AHTD), ktorý je telemonitorovací systém navrhnutý tak, aby uľahčil diaľkové meranie rôznych príznakov, ktoré sú príbuzné práve motorickým symptómom Parkinsonovej choroby. Jednotlivé záznamy obsahovali 2 typy nahrávok: vytrvalé vyslovovanie („ahhh“) a bežná reč, ktorou subjekt opisoval statickú fotografiu zobrazenú na displeji. Mikrofón bol umiestnený 5 cm od pier subjektov a rečové signály boli nahrávané so vzorkovaním 24 kHz a 16 bitovým rozlíšením priamo na USB pripojené k AHTD. Každý záznam (nahrávka) pacienta obsahuje číslo subjektu, vek, pohlavie, časovú známku, motor UPDRS (hodnoty len motorických funkcií), total UPDRS (celková hodnota UPDRS) a 16 biomedicínskych hlasových ukazovateľov. Všetky dáta obsahovali dokopy 5 875 hlasových záznamov, ktoré sú voľne dostupné na internete v databáze UCI Machine Learning Repository. Autori v tejto publikácii skúmali potenciál trvalého vyslovovania samohlásky ku predpovedaniu motorickej a celkovej hodnoty UPDRS použitím troch lineárnych a jednej nelineárnej metódy regresie. Vybrali optimálne zmenšenú podmnožinu atribútov, ktoré vytvorili užitočný model, kde každý atribút v podmnožine extrahoval neprekrývajúce sa fyziologické vlastnosti rečového signálu. Chybu predikcie UPDRS merali pomocou strednej absolútnej chyby (MAE), ktorá bola pomerne nízka. To preukázalo, že trvalé vyslovovanie samohlásky poskytuje dostatok informácií pre predikciu atribútov UPDRS. Podľa dosiahnutých výsledkov dokážeme predikovať motorické hodnoty UPDRS približne v rozmedzí 6 bodov (plný rozsah dosahuje 108 bodov) a celkové UPDRS v rozsahu 7.5 bodov (plný rozsah je 176 bodov). Tieto výsledky odrážajú najlepší odhad chyby predikcie pri 1 000 spusteniach 10 násobnej krížovej validácie. Konečné predpovede hodnôt pomocou modelov sú veľmi blízke lekárske pozorovaniu na klinike.

### III. POPIS DÁT

My sme sa rozhodli analyzovať dáta, ktoré pochádzajú z výskumu zaoberajúceho sa diagnostikou Parkinsonovej choroby pomocou detekcie hlasu. Išlo o výskum, ktorý viedol Max A. Little a bol realizovaný na Univerzite v Oxforde v spolupráci s Národným centrom pre hlas a reč v Denveri, Colorado. Pre analýzu sme si vybrali dataset pochádzajúci z daného výskumu, ktorý mal názov Parkinsons Telemonitoring Data Set. Táto dátová vzorka sa skladá zo záznamov merania hlasu 42 osôb, ktorým bolo diagnostikované počiatočné štádium Parkinsonovej choroby. Tieto osoby sa zúčastnili šesťmesačného projektu, počas ktorého sa mali nahrávať prostredníctvom diaľkového zariadenia na monitorovanie hlasu. Všetky nahrávky boli nahrávané v domácnostiach pacientov zapojených do projektu. Každý riadok v dátach zodpovedá jednému z 5875 hlasových záznamov týchto jedincov a každý pacient je reprezentovaný približne 200 záznamami.

V tomto datasete sme sa rozhodli zamerať na atribút **total\_UPDRS**, ktorý reprezentuje namerané hodnoty UPDRS škály jednotlivých pacientov. Hlavným dôvodom prečo sme si zvolili ako cieľový atribút total\_UPDRS bol fakt, že v súčasnosti je UPDRS škála používaná ako základný nástroj klinického hodnotenia Parkinsonovej choroby a podľa nej je možné zistiť v akom štádiu choroby sa daný pacient nachádza. V nasledujúcej tabuľke je zoznam atribútov spolu s ich jednoduchým vysvetlením.

Tabuľka 1 POPIS ATRIBÚTOV

Popis atribútov pre Parkinsons Telemonitoring Data Set	
Názov atribútu	Popis
subject	Jednoznačná identifikácia subjektu(pacienta)
age	Vek subjektu
sex	Pohlavie (0 – muž, 1 – žena)
test_time	Počet dní odkedy je pacient súčasťou výskumu
motor_UPDRS	Výsledok lekárskeho testu pre motorické schopnosti pacienta
total_UPDRS	Celkové UPDRS lekárskeho testovania pacienta (podľa výsledku je možné určiť v akom štádiu choroby sa pacient nachádza)
MDVP.Shimmer MDVP.Shimmer.dB Shimmer.APQ3 Shimmer.APQ5 MDVP.APQ Shimmer.DDA)	Merania variability v amplitúde zvukového signálu zo záznamu reči pacienta
NHR, HNR	Merania pomeru hluku a tónových zložiek v hlase
RPDE	Nelineárne dynamické merania komplexnosti zvukového signálu
DFA	Signál fraktálovo-škálovateľného exponentu zvukového signálu
PPE	Nelineárne merania variability základnej frekvencie zvukového signálu

### IV. ANALÝZA DÁT

#### A. Korelácie

Pre lepšie pochopenie dát a hľadanie vzťahov medzi atribútmi sme sa najprv zamerali na sledovanie vzájomných závislostí medzi atribútmi pomocou korelačnej matice. Korelácie sú analytickým nástrojom využívaným pri analýze na určenie závislosti medzi dvoma meranými veličinami. Interval, na ktorom sa sledujú korelácie, je v rozsahu od -1 po 1. Ak vyššie hodnoty jednej veličiny súvisia s vyššími hodnotami druhej veličiny, hovoríme o kladnej korelácii. O zápornej korelácii hovoríme vtedy, ak nižšie hodnoty jednej veličiny súvisia skôr s vyššími hodnotami druhej veličiny. Ak sú hodnoty oboch veličín navzájom nezávislé, je korelácia blízka nule.

Po vytvorení korelačnej matice sme zistili, že medzi atribútom **motor\_UPDRS** a cieľovým atribútom **total\_UPDRS** bola závislosť **0.94723**, čo je považované za vysokú závislosť. Táto závislosť medzi vybranými atribútmi sa dala očakávať, keďže motor\_UPDRS predstavuje podmnožinu tých istých dát, ktoré reprezentuje total\_UPDRS. Atribút total\_UPDRS predstavuje sumu všetkých štyroch častí, z ktorých sa UPDRS skladá, pričom motor\_UPDRS predstavuje len jednu časť a to práve výsledok motorických pohybov, ktoré sa pri UPDRS sledujú. Z korelačnej matice sme ďalej zistili, že závislosti medzi cieľovým atribútom total\_UPDRS a jednotlivými atribútmi nie sú príliš vysoké. V dôsledku toho môžeme očakávať,

že úspešnosť predikcie nemusí byť najlepšia. Druhá najvyššia korelácia bola medzi atribútom `total_UPDRS` a age s hodnotou **0.3103**.

### B. Metódy vytvárania a testovania modelov

Pri vytváraní modelov je dôležité zistiť aký je podiel chybné klasifikovaných objektov. Ak by sme na odhad chyby klasifikácie použili trénovacie dáta, tak by sme získali len veľmi nízke hodnoty klasifikačnej chyby, keďže klasifikátor je optimalizovaný práve na tieto trénovacie dáta, na ktorých prebieha učenie. Ide o jav, ktorý sa nazýva preučenie (overfitting). V našom prípade sme sa rozhodli využiť dve metódy (holdout a krížovú validáciu).

Pri metóde **holdout** sa rozdelia dáta do trénovacej a testovacej množiny v nami zvolenom pomere. Týmto postupom zabezpečíme, aby sa model na trénovacej množine učil a na testovacej množine porovnával známe hodnoty z dát so získanými výsledkami z nášho modelu. Táto metóda sa využíva hlavne, ak je počet objektov so známou hodnotou triedy dostatočne veľký na to, aby došlo ku kvalitnému naučeniu klasifikátora. Pri využití tejto metódy sme rozdelili dáta do trénovacej a testovacej množiny a to v pomere: 70/30 [7].

Použitím metódy **k-násobnej krížovej validácie** sa daná množina dát rozdelí na  $m$  rovnako veľkých podmnožín, z ktorých sa stále  $m-1$  podmnožín použije na trénovanie klasifikátora a zvyšná podmnožina na jeho testovanie. Takýmto spôsobom získame  $m$  rôznych chýb klasifikátora, ktoré sa skombinujú pre získanie konečného odhadu chyby klasifikácie pri použití daného algoritmu. Na odhad kvality klasifikátorov sme sa rozhodli použiť 10-násobnú krížovú validáciu. Vo všeobecnosti platí, že je lepšie využívať tzv.  $m$ -násobnú krížovú validáciu, pretože je schopná zabezpečiť spoľahlivejší odhad chyby klasifikátora v porovnaní s metódou trénovania a testovania.

### C. Metódy vyhodnotenia regresných modelov

Po vytvorení modelov je potrebné ich vyhodnotiť a zistiť s akou presnosťou dokážu predikovať cieľový atribút `total_UPDRS`. Na tento účel môžeme využiť metódu, ktorá je založená na počítaní priemernej kvadratickej chyby **MSE** (*Mean Squared Error*). Veľmi podobnou metódou je aj **RMSE** (*Root Mean Squared Error*), ktorá sa líši od MSE len v tom, že ide o jej odmocninu [8]. V nasledujúcich vzorcoch predpokladáme, že hodnoty získané z predikcie máme uložené v premennej *predicted* a dáta z testovacej množiny (známe hodnoty) máme uložené v premennej *actual*.

Vzorec na výpočet RMSE:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n |predicted - actual|^2}$$

Ďalšia veľmi často využívaná metóda na výpočet presnosti predikcie je **MAE** (*Mean Absolute Error*). Ide vlastne o výpočet priemernej chyby v absolútnej hodnote. Inak povedané prostredníctvom MAE môžeme vypočítať aký veľký rozdiel je medzi dátami z testovacej množiny a predikovanými hodnotami [8].

Vzorec na výpočet MAE:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n |predicted - actual|$$

Ako ukazovateľ RMSE, tak aj ukazovateľ MAE vyjadruje priemernú chybu predikcie a to v rovnakých jednotkách ako sú popisované naše dáta. Jediným rozdielom je fakt, že RMSE prikladá relatívne vysokú váhu veľkým chybám.

Posledným ukazovateľom presnosti predikcie, ktorý sme sa rozhodli použiť bol ukazovateľ **MAPE** (*Mean Absolute Percentage Error*). MAPE nám podáva informáciu o priemernej absolútnej chybe predikcie. Tento ukazovateľ je ľahko pochopiteľný aj pre človeka, ktorý nie je detailne oboznámený s danými dátami.

Vzorec na výpočet MAPE:

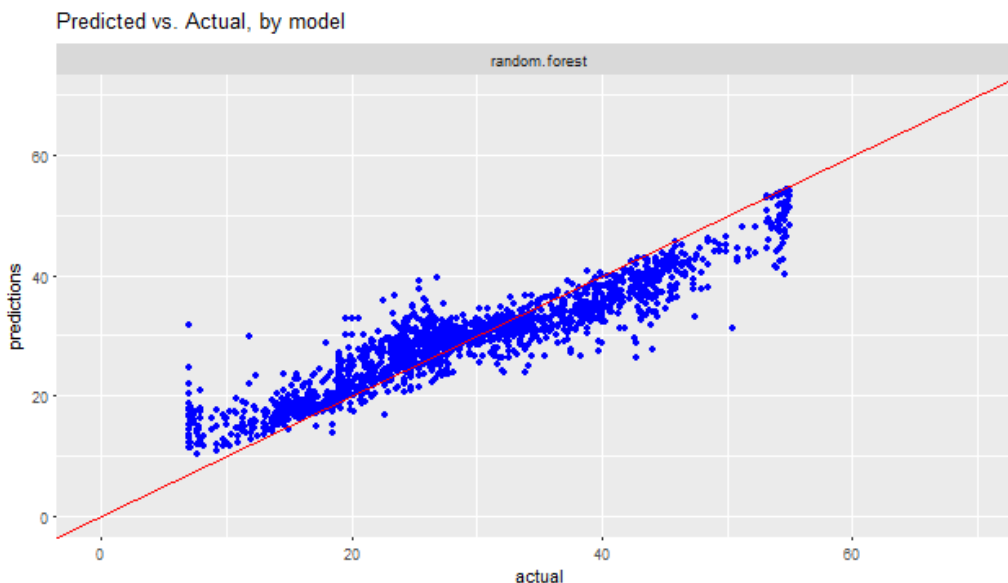
$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \left| \frac{predicted - actual}{actual} \right|$$

Ukazovateľ MAPE má jeden veľký nedostatok a to, ak nastane prípad, že sa reálne hodnoty (actuals) rovnajú nule, vtedy ukazovateľ MAPE nie je definovaný. Dokonca aj v prípade keď reálna hodnota (actuals) nie je nulová, ale je blízko nuly, tak môže dôjsť k tomu, že chyba predikcie na základe tohto ukazovateľa môže byť veľmi vysoká [9].

#### D. Modelovanie

V tomto kroku sme vytvorili množstvo modelov, pričom sme použili metódy lineárnej, viacnásobnej a polynomiálnej regresie a taktiež rozhodovacie stromy. Pri použití lineárnej regresie sme na predikovanie cieľového atribútu `total_UPDRS` použili atribúty s najvyššou závislosťou: **Age** (MAE = 8.53, MAPE = 0.39, RMSE = 10.15), **HNR** (MAE = 8.62, MAPE = 0.395, RMSE = 10.55), **RPDE** (MAE = 8.67, MAPE = 0.396, RMSE = 10.56), **PPE** (MAE = 8.77, MAPE = 0.4, RMSE = 10.60), **Shimmer.APQ11** (MAE = 8.7, MAPE = 0.41, RMSE = 10.66), **DFA** (MAE = 8.73, MAPE = 0.40, RMSE = 10.61). Keďže po vytvorení modelov lineárnej regresie sme nedosiahli uspokojivé výsledky, rozhodli sme sa použiť viacnásobnú regresiu. Výber atribútov do tohto modelu bol realizovaný pomocou funkcie `stepAIC`, ktorá sa nachádza v baličku MASS. Pri využití viacnásobnej regresie sme dosiahli podľa ukazovateľov RMSE (9.76), MAE (8.05), MAPE (0.36) lepšie výsledky v porovnaní s lineárnou regresiou.

Po viacerých experimentoch sme získali najlepší model pomocou metódy RandomForest. Táto metóda je založená na princípe skupinového učenia a dá sa využiť na regresiu. Funguje na princípe tvorby niekoľkých rozhodovacích stromov v rovnakom čase. Tento model dosahoval najlepšiu presnosť pri 10-násobnej krížovej validácii, kde ukazovateľ MAE mal hodnotu 2.8714 a ukazovateľ RMSE mal hodnotu 3.9230. Pri využití metódy tréovania a testovania (pri rozdelení dát v pomere 70/30) mali ukazovatele MAE (3.3018) a RMSE (4.3614) o niečo horšiu hodnotu. Hodnoty atribútu `total_UPDRS` sa pohybujú v rozmedzí od 7 do 54.99. Ak bol priemerný rozdiel medzi dátami z testovacej množiny a predikovanými dátami 2.8714, tak môžeme túto predikciu považovať za dostatočne presnú vzhľadom na rozmedzie, v ktorom sa vyskytujú hodnoty `total_UPDRS`. Dôkazom toho je aj MAPE, ktorého hodnota je 0.1313.

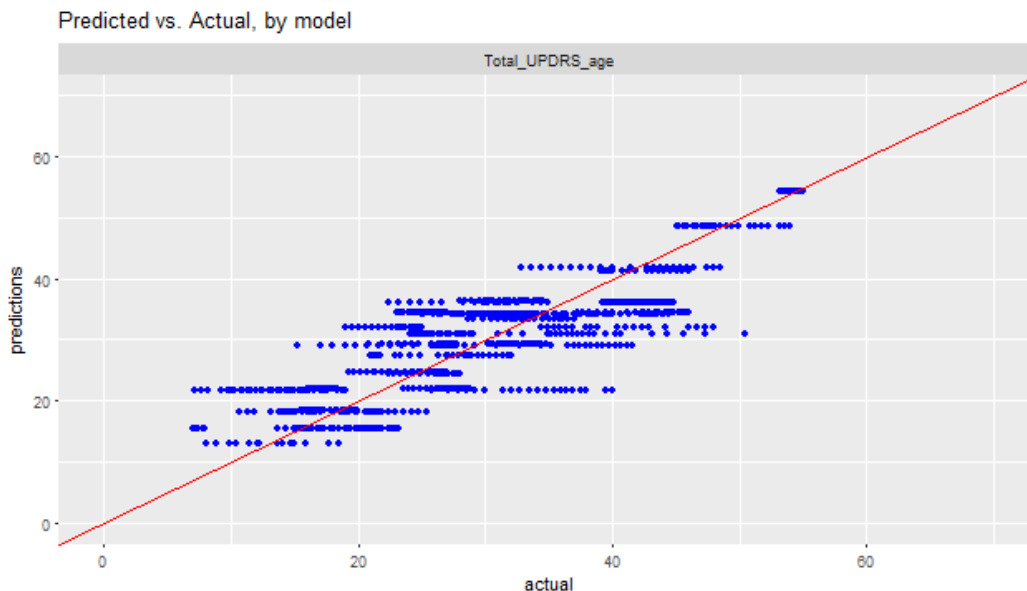


Obr. 1 Predikcie modelu RandomForest

Na Obr. 1 môžeme pozorovať presnosť predikcie vytvoreného modelu pomocou metódy RandomForest. Na x-ovej osi sú zobrazené aktuálne hodnoty cieľového atribútu `total_UPDRS` a na y-ovej osi môžeme vidieť predikované hodnoty cieľového atribútu `total_UPDRS`. Červená diagonálna čiara v grafe predstavuje najmenšiu chybu predikcie (smaller prediction error). To znamená, že čím viac budú modré body kopírovať červenú čiaru v grafe, tak tým bude presnosť predikcie lepšia.

Rovnako zaujímavý výsledok dosiahol model, kde bola využitá polynominálna regresia (MAE = 4.76, MAPE = 0.21, RMSE = 5.85), pričom bol ako prediktor použitý len atribút `age`. Tento model dosiahol oveľa lepšie výsledky v porovnaní s ostatnými vytvorenými modelmi. Dôkazom toho je aj graf v ktorom môžeme pozorovať, že rozdiel medzi skutočnými a predikovanými hodnotami bol minimálny. Čiže prostredníctvom našich dát môžeme potvrdiť, že vek pacienta má značný vplyv na stav jeho ochorenia.





Obr. 2 Predikcie modelu pomocou polynomiálnej regresie

V danom grafe môžeme pozorovať presnosť predikcie vytvoreného modelu, kde bola využitá polynomiálna regresia, pričom ako prediktor bol použitý len atribút *age*.

## V. ZÁVER

Po vytvorení predikčných modelov môžeme skonštatovať, že prostredníctvom analýzy vybraných dát sa dá s určitou presnosťou predpovedať u akých pacientov sa bude vyskytovať Parkinsonová choroba. Taktiež sme zistili, že veľmi dôležitým faktorom v našich dátach bol aj vek pacienta, keďže pacienti vo vyššom veku mali prevažne chorobu vo vyššom štádiu. Ďalšie pokračovanie tejto práce by malo súvisieť s poskytnutím získaných znalostí lekárom, ktorí sa špecializujú na liečbu Parkinsonovej choroby a následne zanalyzovať do akej miery sa získané poznatky odlišovali od skutočnosti a následne zhodnotiť správnosť našich modelov z medicínskeho hľadiska. V prípade zistených nedostatkov by sa podľa závažnosti rozhodlo, či je potrebné celý cyklus spojený s objavovaním znalostí zopakovať alebo len stačí odstrániť zistené nedostatky, poprípade vylepšiť existujúce modely.

## POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt "Centrum informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy" (kód ITMS:26220120020), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## REFERENCES

- [1] GMITTEROVÁ, Karin: Parkinsonova choroba. [online]. [cit. 2016-11-3]. Dostupné na internete: <<http://www.zdravie.sk/choroba/23284/parkinsonova-choroba>>.
- [2] ŠKORVÁNEK, Matej: Validizácia slovenskej verzie Movement Disorder Society – Unified Parkinson's Disease Rating Scale (MDS- UPDRS). [online]. [cit. 2016-11-3]. Dostupné na internete: <[http://www.csnn.eu/ceska-slovenska-neurologie-clanek/validizacia-slovenskej-verzie-movement-disorder-society-unified-parkinson-s-disease-rating-scale-mds-updrs-41172?confirm\\_rules=1](http://www.csnn.eu/ceska-slovenska-neurologie-clanek/validizacia-slovenskej-verzie-movement-disorder-society-unified-parkinson-s-disease-rating-scale-mds-updrs-41172?confirm_rules=1)>.
- [3] KUCHARÍK, Martin: Parkinsonova choroba – diagnostika a liečba. [online]. [cit. 2016-11-3]. Dostupné na internete: <<http://www.ineurolog.sk/parkinsonova-choroba/parkinsonova-choroba>>.
- [4] PPMI: Parkinson's Progression Markers Initiative. [online]. Dostupné na internete: <<http://www.ppmi-info.org/about-ppmi/who-we-are/>>.
- [5] NGUYEN Vincent, SUNG Vania, WANG Jason: PPMI-Data-Mining. [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné na internete: <<https://github.com/vtn6/PPMI-Data-Mining>>.
- [6] TSANAS, Athanasios et al.: Accurate Telemonitoring of Parkinson's Disease Progression by Noninvasive Speech Tests. In: IEEE Transactions on Biomedical Engineering. Roč. 57, č. 4 (2010), s. 884-893.
- [7] PARALIČ, Ján: Objavovanie znalostí v databázach. Košice : Elfa, 2003. 80 s. ISBN 80-89066-60-7.
- [8] World, Human in a Machine: MAE and RMSE — Which Metric is Better? [online]. Dostupné na internete: <<https://medium.com/human-in-a-machine-world/mae-and-rmse-which-metric-is-better-e60ac3bde13d>>.
- [9] SHMUELI, Galit et al.: Data Mining for Business Analytics: Concepts, Techniques, and Applications with XLMiner. John Wiley & Sons, 2016. 552 s. ISBN: 978-1-118-72927-4.

# Šírenie vysokofrekvenčných elektromagnetických polí cez vybrané stavebné materiály

<sup>1</sup>Alexander MÉSZÁROS, <sup>2</sup>Peter KURIMSKÝ

<sup>1,2</sup>Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>alexander.meszaros@tuke.sk, <sup>2</sup>peter.kurimsky@tuke.sk

**Abstrakt**— Práca sa zaoberá problematikou merania vplyvu vybraných stavebných materiálov na šírenie elektromagnetického poľa a hodnotením ich tieniaceho účinku. Sú uvedené niektoré legislatívne požiadavky na limitné hodnoty vysokofrekvenčných elektromagnetických polí z hľadiska ochrany zdravia občanov. Je charakterizované použité laboratórne vybavenie, je vysvetlená metodika merania, sú prezentované najdôležitejšie dosiahnuté výsledky a je poskytnutá ich stručná analýza.

**Kľúčové slová**—vysokofrekvenčné elektromagnetické pole, tienenie elektromagnetického poľa, odraz elektromagnetického poľa, stavebné materiály

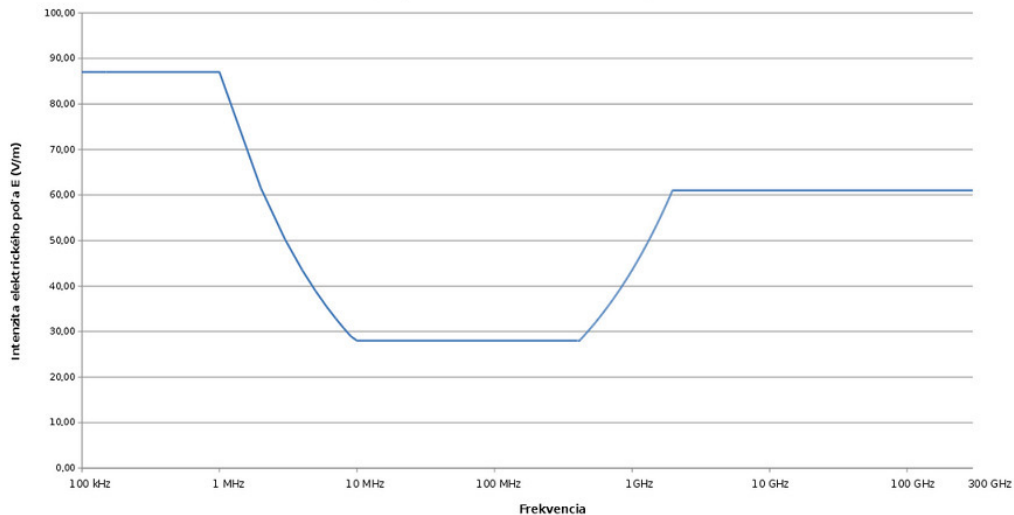
## I. ÚVOD

Problematika vplyvu elektromagnetických polí (EMP) na obyvateľstvo začala byť aktuálna v dôsledku výrazného zvýšenia počtu zdrojov elektromagnetického žiarenia, najmä prudkým rozvojom telekomunikačných technológií. Napriek podpore, ktorej sa výskumu vplyvu elektromagnetických polí na zdravie človeka dostáva zo strany Svetovej zdravotníckej organizácie alebo Európskej únie, v súčasnosti nie je možné jednoznačne potvrdiť alebo vyvrátiť škodlivý vplyv dlhodobej expozície EMP na ľudský organizmus. Časť štúdií poukazuje na súvis medzi elektromagnetickým poľom a vznikom ochorení, ako napr. leukémia a rakovina. Výsledky iných štúdií nepreukázali negatívny vplyv elektromagnetických polí na ľudské zdravie v prípade, ak nebudú prekročené v súčasnosti platné limity. Vzhľadom na súčasný stav je nevyhnutné naďalej venovať výskumu vplyvu elektromagnetických polí na ľudský organizmus patričnú a systematickú pozornosť a podporovať výskumné aktivity v oblasti účinkov elektromagnetických polí.

Otázke elektromagnetických polí sa venujú viaceré významné organizácie, napr. Medzinárodná komisia pre ochranu pred neionizujúcim žiarením (ICNIRP), Svetová zdravotnícka organizácia (WHO), Medzinárodná telekomunikačná únia (ITU), Medzinárodná elektrotechnická komisia (IEC), ale aj mnohé ďalšie. Otázka ochrany pred účinkami elektromagnetických polí je aktuálna aj v rámci Európskej únie (EÚ). Európska rada, ako aj Európsky parlament vydali návrhy opatrení týkajúce sa elektromagnetických polí. Ide o odporúčanie Rady (1999/519/ES) z 12. júla 1999 o obmedzení vystavenia širokej verejnosti elektromagnetickým poliam (0 Hz až 300 GHz), ktoré vychádzajú z odporúčaní Medzinárodnej komisie na ochranu pred neionizujúcim žiarením (ICNIRP). Druhým dokumentom je Smernica európskeho parlamentu a rady 2013/35/EÚ z 26. júna 2013 o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách týkajúcich sa vystavenia pracovníkov rizikám vyplývajúcim z elektromagnetických polí [2].

V rámci legislatívy SR ochranu osôb pred účinkami elektromagnetických polí rieši Vyhláška Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 534/2007 Z.z. (požiadavky na zdroje elektromagnetického žiarenia a na limity expozície obyvateľov elektromagnetickému žiareniu v životnom prostredí) a Nariadenie vlády SR č. 209/2016 Z. z. (o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou elektromagnetickému poľu). Predmetné legislatívne predpisy ustanovujú minimálne požiadavky na zdroje elektromagnetického žiarenia s cieľom zabezpečiť ochranu zdravia obyvateľov v životnom prostredí a zaistiť bezpečnosť a ochranu zdravia zamestnancov v súvislosti s expozíciou elektromagnetickému poľu s frekvenciou od 0 Hz do 300 GHz. V súčasnosti platné

akčné hodnoty pre obyvateľstvo SR sú uvedené na obr. 1 [3].



Obr. 1 Akčná hodnota intenzity elektrického poľa E (V/m) podľa vyhlášky MZ SR 534/2007 Z.z. (v pásme 100 kHz – 300 MHz)

Z dôvodov zabezpečenia dostatočnej ochrany obyvateľov pred nepriaznivými účinkami elektromagnetických polí (EMP) sa presadzuje koncepcia „rozumnej minimalizácie expozície“. Táto koncepcia v praxi znamená prijatie jednoduchých, ľahko uskutočniteľných, málo nákladných opatrení na minimalizáciu expozície obyvateľov, a to aj v prípade, keď riziko vyplývajúce z expozície osôb elektromagnetickému poľu nie je výrazné (úrovne expozície sú nižšie ako legislatívou stanovené limity).

## II. VÝSKUM VPLYVU STAVEBNÝCH MATERIÁLOV NA ŠÍRENIE ELEKTROMAGNETICKÝCH POLÍ

Projekt Ochrana obyvateľstva SR pred účinkami elektromagnetických polí, s kódom ITMS: 26220220145 spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja, bol riešený od 01/2011 do 09/2015 na základe podpory Výskumnej agentúry (v minulosti Agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR pre štrukturálne fondy EÚ) v rámci operačného programu Výskum a vývoj, Opatrenie 2.2 Prenos poznatkov a technológií získaných výskumom a vývojom do praxe. Hlavným riešiteľom projektu bola spoločnosť VUJE, a.s., spoluriešiteľom bola Katedra elektroenergetiky Technickej univerzity v Košiciach. Cieľom projektu bolo vypracovanie máp elektromagnetických polí pre mestá SR s počtom obyvateľov nad 10 tisíc a ich sprístupnenie širokej laickej a odbornej verejnosti. Výsledky sú vo forme digitálnych máp elektromagnetických polí dostupné na internete prostredníctvom stránky [www.emp.vuje.sk](http://www.emp.vuje.sk).

Aktivita Katedry elektroenergetiky bola zameraná na vytvorenie špecializovaného pracoviska, zameraného na základný a aplikovaný výskum v oblasti elektromagnetických polí, ako aj na výskum vlastností stavebných objektov (tienenie elektrického a magnetického poľa) a ich vplyvu na veľkosť expozície elektromagnetickému poľu v ich okolí. Pokračovaním týchto aktivít je projekt Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied VEGA č. 1/0132/15 Výskum prieniku vysokofrekvenčného elektromagnetického poľa cez stavebné ekologické materiály, podporou ktorého bola realizovaná práca [1].

Kvalitu tienenia materiálu určujú tri koeficienty, koeficient tienenia  $K_S$ , koeficient absorpcie  $A$  a koeficient odrazu  $R$ . S týmito tromi koeficientmi úzko súvisí aj účinnosť tienenia  $SE$ . Koeficient tienenia  $K_S$  sa určuje napr. ako pomer

$$K_S = \frac{E_2}{E_1} \quad (1)$$

pričom  $E_2$  je intenzita elektrického poľa v určitom bode tienenia priestoru a  $E_1$  je intenzita elektrického poľa pred tieniacou bariérou.

Efektívnosť tienenia sa vyjadruje ako logaritmická miera koeficientu tienenia  $K_S$ , pre rozsah frekvencií od 300 MHz do 100 GHz:

$$SE = 20 \log \frac{|E_1|}{|E_2|} = 20 \log \frac{1}{|K_S|} \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

Účinnosť tienenia možno vyjadriť ako súčet absorpcie a odrazu:

$$SE = A + R \quad (\text{dB}) \quad (3)$$

kde  $A$  predstavuje koeficient absorpcie a  $R$  koeficient odrazu. V niektorých literatúrach sa uvádza, že časť z koeficienta odrazu tvorí koeficient mnohonásobných odrazov  $M$  vo vnútri tieniaceho materiálu, ale väčšina z literatúr pre zjednodušenie uvažuje, že koeficient odrazu  $R$  v sebe zahŕňa aj tieto mnohonásobné odrazy a teda hodnota koeficienta odrazu  $R$  je celkovou hodnotou odrazu elektromagnetického poľa.

Koeficient absorpcie je možné modifikáciou vyjadriť ako:

$$A = 8.69 \cdot \frac{t}{\delta} \quad (\text{dB}) \quad (4)$$

kde  $t$  predstavuje hrúbku tieniaceho materiálu a  $\delta$  je hĺbka prieniku elektromagnetického poľa do materiálu, ktorá sa určí podľa:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} \quad (5)$$

pričom  $\mu$  predstavuje magnetickú (absolútnu) permeabilitu, v ktorej je zahrnutá aj permeabilita tieniaceho materiálu a  $\sigma$  je merná vodivosť tieniaceho materiálu.

Koeficient odrazu možno vyjadriť ako:

$$R = 20 \log \left( \frac{1}{4} \sqrt{\frac{\sigma}{\omega\mu_r \varepsilon_0}} \right) \quad (\text{dB}) \quad (6)$$

kde  $\varepsilon_0$  predstavuje permitivitu vákuua a  $\mu_r$  relatívnu permeabilitu tieniaceho materiálu.

Zriadené špecializované meracie pracovisko pozostáva z troch hlavných častí [4]:

- bezodrazová EMC komora,
- signálový generátor Agilent N5181A a spektrálny analyzátor Agilent N9038A MXE EMI,
- vysielacia anténa RF spin DRH18-E a prijímacia anténa R&S HF907.

Hlavnou časťou meracieho pracoviska je EMC komora, ktorá bráni prenikaniu elektromagnetického poľa zvonku dnu a naopak.

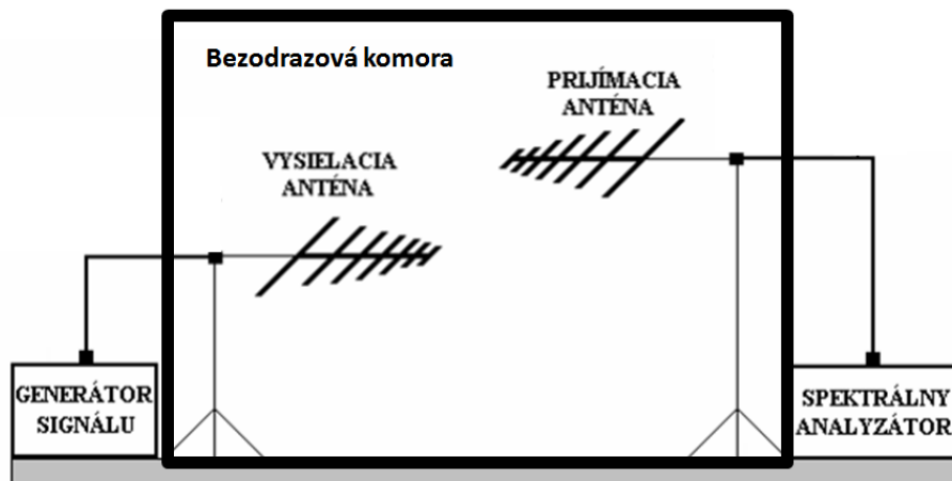
Vo vnútri EMC komory sú umiestnené antény, lievikovitá hrebeňová anténa RF spin DRH18-E so širokým frekvenčným rozsahom 1 GHz až 18 GHz a širokopásmová smerová anténa s lineárnou polarizáciou R&S HF907, s frekvenčným rozsahom 0,8 GHz až 18 GHz. Antény, sú pomocou káblového príslušenstva pospájané s vonkajškom cez priechodky komory.

Prístroje sú umiestnené vonku, pred komorou, signálový generátor Agilent N5181A je schopný dodávať výkon vo frekvenčnom rozsahu od 100 kHz až 20 GHz, spektrálny analyzátor Agilent N9038A MXE EMI dokáže zachytiť signál vo frekvenčnom rozsahu od 20 Hz do 44 GHz.

Pohľad na vybavenie meracieho pracoviska je na obr. 2, bloková schéma usporiadania pracoviska je na obr. 3.



Obr. 2 Pohľad na vybavenie špecializovaného meracieho pracoviska



Obr. 3 Bloková schéma usporiadania meracieho pracoviska

### III. MERANIE ÚČINNOSTI TIENENIA A ODRAZU VYBRANÝCH STAVEBNÝCH MATERIÁLOV

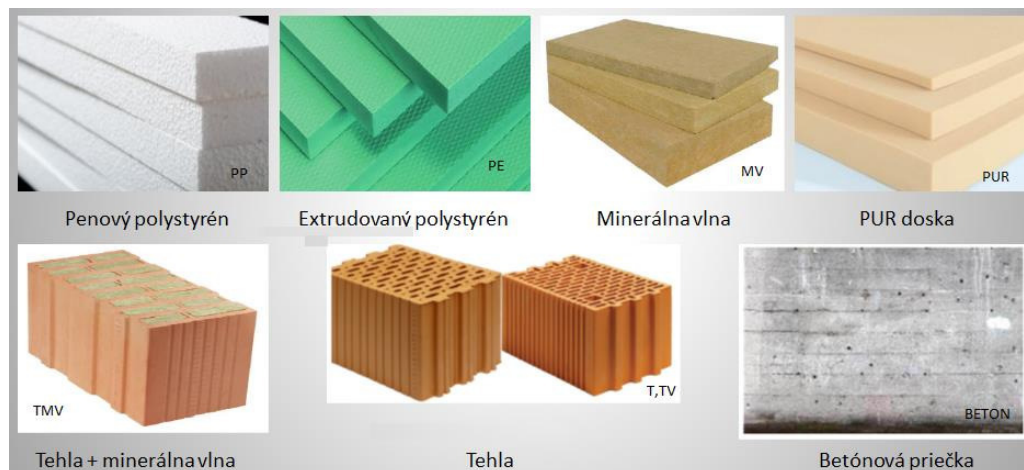
Meraním účinnosti tienenia  $SE$  je možné zistiť, ako účinné sú tieniace materiály v rámci meraného frekvenčného spektra. Rôzne materiály môžu mať pre elektromagnetické pole rôzne tieniace schopnosti. Na základe vzťahov pre určenie účinnosti tienenia  $SE$  a odrazu  $R$  elektromagnetického poľa, uvedených v predchádzajúcej kapitole, je možné konštatovať, že veľkosti týchto veličín závisia od fyzikálnych vlastností tieniaceho materiálu ako permeabilita či merná vodivosť tieniaceho materiálu. Aj na základe nich je možné určiť, aké zastúpenie má odraz  $R$  a absorpcia  $A$  elektromagnetického poľa na celkovej účinnosti tienenia. Hodnoty  $SE$ ,  $R$  a  $A$  závisia aj od vlastností prostredia, ktorým sa elektromagnetické pole šíri. V príspevku sú popísané merania, ktoré prebiehali v bezodrazovej komore a teda elektromagnetické pole sa šíri vzduchom. Hodnoty účinnosti tienenia  $SE$  a odrazu  $R$  boli určené meraním, absorpcia  $A$  sa počítala podľa vzťahu (3).

Pre účely merania boli ako tieniace materiály použité stavebné materiály, ktoré sa používajú pre bežné stavebné účely. Pre tieto materiály je značne problematické zistiť fyzikálne vlastnosti, pomocou ktorých by bolo možné namodelovať účinnosť tienenia elektromagnetického poľa, napríklad v programe Ansys.

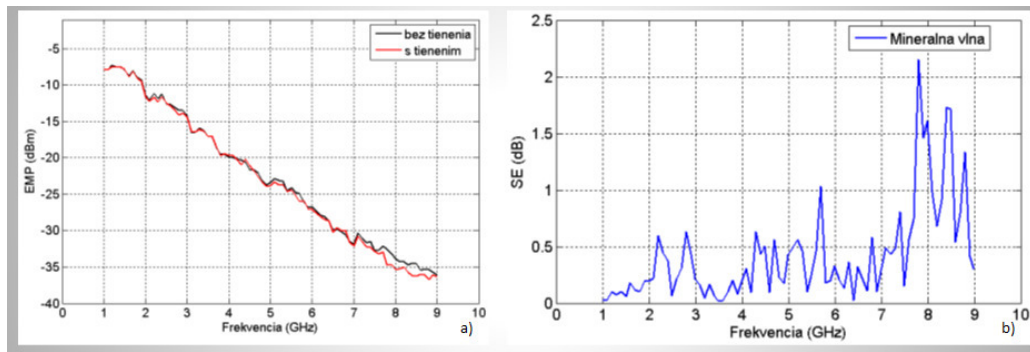
Prvú kategóriu tieniacich materiálov tvorili tehly s rôznou štruktúrou a rôznou hrúbkou. Druhú kategóriu tvorili polystyrény s rôznou hrúbkou materiálu a tretiu kategóriu iné materiály. Skúmané vzorky použitých stavebných materiálov a ich označenia sú uvedené na obr. 4.

Princípom merania je zmerať EMP bez tienenia a s tienením a na základe týchto dvoch meraní vypočítať účinnosť tienenia elektromagnetického poľa.

Priebeh elektromagnetického poľa bez tienenia a s tienením je zobrazený na obr. 5a) pre materiál minerálna vlna. Čiernou farbou je zobrazený priebeh elektromagnetického poľa bez tienenia, červenou farbou je zobrazený priebeh EMP s tienením, vo frekvenčnom rozsahu od 1 GHz do 9 GHz. Rozdiely medzi týmito dvoma priebehmi určujú účinnosť tienenia v danej frekvenčnej oblasti (obr. 5b).



Obr. 4 Skúmané vzorky použitých stavebných materiálov a ich označenie

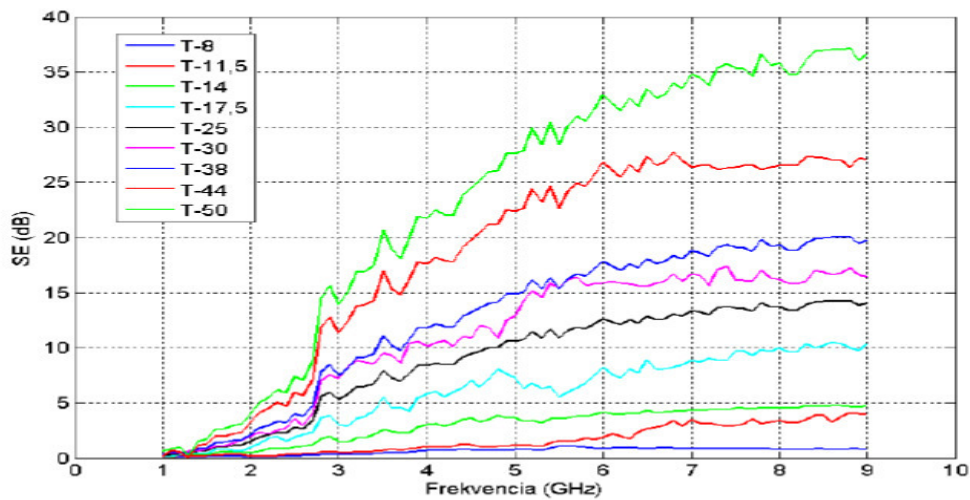


Obr. 5a) Priebeh elektromagnetického poľa; 5b) Priebeh účinnosti tienenia SE

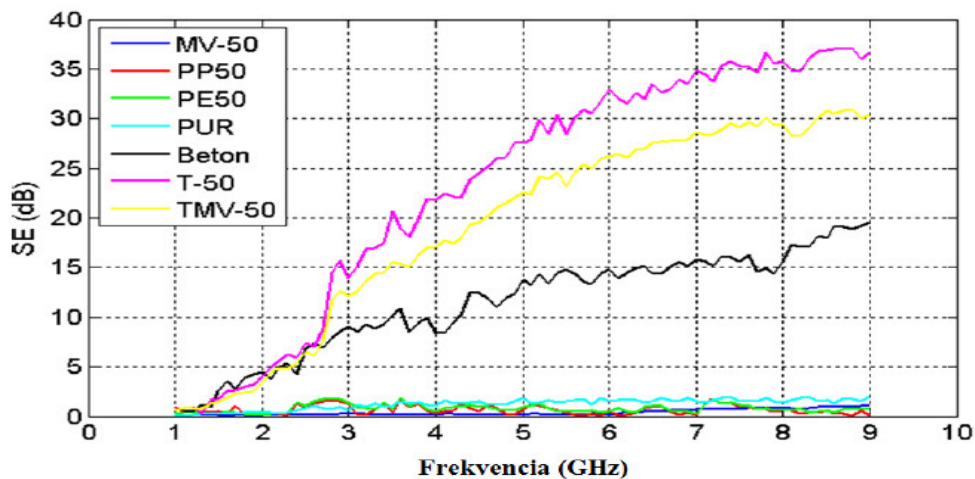
Z výsledkov SE pre minerálnu vlnu je možné pozorovať, že účinnosť tienenia sa pohybuje v rozsahu od 0,1 dB do 0,6 dB do frekvencie 7,5 GHz. Pri vyšších frekvenciách sa hodnota SE mierne zvýšila.

Najlepšiu účinnosť tienenia vykazovala zo všetkých porovnávaných materiálov tehla s rôznymi hrúbkami. Preto na obr. 6 sú znázornené závislosti účinnosti tienenia SE elektromagnetického poľa vo frekvenčnej oblasti od 1 GHz do 9 GHz pre materiál tehla. Na obrázku sú znázornené výsledky pre hrúbky 8 cm, 11,5 cm, 14 cm, 17,5 cm, 25 cm, 30 cm, 38 cm, 44 cm a 50 cm. V grafoch z jednotlivých meraní, po písmenovom označení meraného materiálu podľa obr. 4, je číslami označená hrúbka príslušného materiálu v cm. Z výsledkov merania vyplýva, že so zvyšujúcou sa frekvenciou účinnosť tienenia rastie. Platí to pre každú hrúbku materiálu. Najvyššie hodnoty SE dosahuje najhrubšia tehla. Naopak, najmenšie hodnoty SE dosahuje najtenšia tehla s hrúbkou 8 cm.

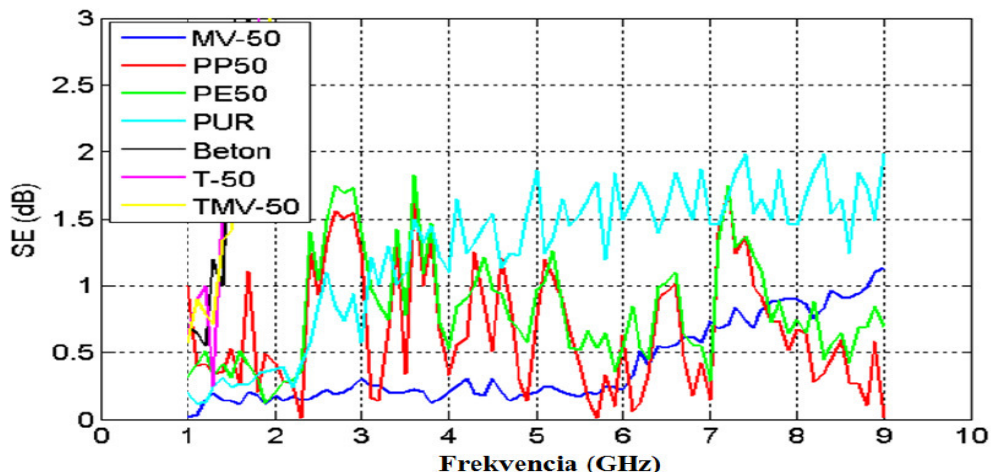
Na obr. 7 a 8 sú porovnané jednotlivé stavebné materiály s rovnakou hrúbkou (okrem betónu a PUR).



Obr. 6 Závislosť SE pre materiál tehla s rôznymi hrúbkami



Obr. 7 Porovnanie SE pre rôzne stavebné materiály rovnakej hrúbky (vyššie hodnoty)



Obr. 8 Porovnanie SE pre rôzne stavebné materiály rovnakej hrúbky (nižšie hodnoty)

Získané priebehy korešponujú s výsledkami meraní z literatúry [9], [10], [11].

Analogickým spôsobom bolo možné zistiť odraz jednotlivých stavebných materiálov. Kým však pri meraní účinnosti tienenia sa tienenie (meraný stavebný materiál) umiestnilo medzi vysielaciu a prijímaciu anténu, pri meraní odrazu vysielacia aj prijímacia anténa sa nachádzali na tej istej strane tienenia.

Meranie odrazu elektromagnetického poľa je dôležité pri určovaní absorpcie elektromagnetického poľa. Ak je známa hodnota účinnosti tienenia  $SE$  a odrazu  $R$  elektromagnetického poľa, je možné vypočítať absorpciu tieniaceho materiálu podľa vzťahu (3).

#### IV. ZÁVER

Táto práca sa zaoberá problematikou merania vplyvu vybraných stavebných materiálov na intenzitu elektromagnetického poľa a hodnotením ich tieniaceho účinku. Zároveň bol meraný aj koeficient odrazu a určený koeficient absorpcie pre skúmané materiály.

Výsledky experimentov poukazujú na tieniace schopnosti zvolených stavebných materiálov. Ako stavebné materiály boli zvolené postupne minerálna vlna (MV), klasická tehla (T), tehla so vzduchovými medzerami (TV), tehla plnená minerálnou vlnou (TMV), extrudovaný (PE) a penový (PP) polystyrén, betón a nový typ zateplovacieho systému PUR doska. Z výsledkov vyplýva, že najvyššie hodnoty účinnosti tienenia elektromagnetického poľa dosahujú tehly v rôznom prevedení. Nasleduje betón a potom s podstatne veľkým rozdielom v účinnosti tienenia materiály polystyrén a PUR doska. Rovnaký poznatok sa zistil aj pre absorpciu a odraz elektromagnetického poľa.

Výsledky experimentov taktiež poukázali na to, že použité meracie metódy nie sú vhodné pre meranie materiálov, kde je predpoklad nízkych hodnôt účinnosti tienenia. Je to z dôvodu použitého technického vybavenia. Neistota merania pracoviska použitého pri experimentoch je 0,35 dB. Pri niektorých materiáloch, prevažne polystyrén a PUR doska bola účinnosť tienenia na tejto úrovni. Ak by bola chyba merania 0,35 dB, účinnosť polystyrénu by sa mohla pohybovať +/- 0,35 dB z práve 0,35 dB. Pri nízkych hodnotách účinnosti tienenia aj takto malá neistota merania značne ovplyvní celkové závislosti účinnosti tienenia.

Ďalej je potrebné poznamenať, že metóda na meranie odrazu nebola presná. Nakoľko vo vnútri komory nastávajú odrazy od stien, výsledky merania odrazu elektromagnetického poľa mohli byť týmto ovplyvnené. Na druhej strane, keďže popísané metódy sú porovnávacie, odrazy nastávajú aj pri meraní s tienením aj bez neho. Preto pri takýchto meraniach je lepšie použiť porovnávaciu metódu, aby sa minimalizovala chyba merania spôsobená odrazmi od stien komory.

Vzhľadom na to, že sa do popredia pomaly dostávajú rôzne alternatívne stavebné materiály, budúci výskum v tejto oblasti by mohol byť zameraný práve na tieto materiály. Popísané experimenty a výsledky v tejto práci poukázali na možné zmeny v štruktúre materiálu (tehla, tehla so vzduchovými medzerami a tehla plnená minerálnou vlnou), ktoré by mohli mať za následok zmenu celkovej účinnosti tienenia, odrazu aj absorpcie. Preto by ďalšie smerovanie výskumu mohlo viesť cestou návrhu vhodných štruktúrnych zmien stavebných materiálov, poprípade k úplnej zmene materiálov v štruktúre stavebného materiálu.

#### POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore projektu Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied VEGA č. 1/0132/15 Výskum prieniku vysokofrekvenčného elektromagnetického poľa cez stavebné ekologické materiály.

#### LITERATÚRA

- [1] P. Kurimský, *Výskum šírenia elektromagnetických vln v životnom prostredí*. Dizertačná práca, TU Košice 2017
- [2] J. Zbojovský, *Modelovanie rozloženia elektromagnetického poľa v nehomogénnom materiálovom prostredí*, Dizertačná práca, TU Košice 2015
- [3] VÚJE: Ochrana obyvateľstva SR pred účinkami elektromagnetických polí. Dostupné na internete: <http://www.emp.vuje.sk>
- [4] M. Pavlík, *Výskum prestupu, odrazu a pohltivosti elektromagnetických vln vo vrstvených materiáloch*. Dizertačná práca, TU Košice 2015
- [5] World Health Organization, non-ionizing radiation, part 2: radiofrequency electromagnetic fields, iarc monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, International Agency for Research on Cancer, 2013, 480s, ISBN: 978-92-832-1325-3
- [6] ICNIRP STATEMENT, On the "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)" [online]. Dostupné na internete: <http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPStatementEMF.pdf>
- [7] ICNIRP SCI REVIEW, Mobile phones, brain tumors, and the interphone study: where are we now [online]. Dostupné na internete: <http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPSCIreview2011.pdf>
- [8] IEEE Standard 299-2006, Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures, EMC Society, New York 2006, p.39
- [9] N.Suresh Kumar, L.Andal, P.Rajeswari, A.Gobinath and B.Parthiban, *Analysis of EMI shielding effectiveness of building materials*. Electrical Engineering: An International Journal (EEIJ), Vol. 1, No. 1, June 2014.
- [10] T. Frenzel, J. Stumpf, and M. Koch, *Shielding effectiveness of original and modified building materials*. Adv. Radio Sci., 5, 69–73, 2007.
- [11] S.P Chew, M.S Hamzah, M.Y Alias, A.A Azid and M.N. Elya, *A Study on EMI Shielding Material Effectiveness for Building Construction*. IPCSIT vol. 30 (2012), IACSIT Press, Singapore.



# Rozpoznávanie hlasových povelov pomocou EEG signálov

*Marianna ROSINOVÁ, Martin LOJKA, Ján STAŠ, Jozef JUHÁR*

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií  
Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach  
Park Komenského 13, 042 10 Košice, Slovenská republika

{marianna.rosinova, martin.lojka, jan.stas, jozef.juhar}@tuke.sk

**Abstrakt** – V súčasnosti sa vo svete začínajú rozvíjať systémy uľahčujúce prácu s počítačom. Pokročilé systémy na komunikáciu človeka so strojom využívajú rozhranie mozog-počítač, vzhľadom na to, že rýchlosť produkcie reči alebo písania je relatívne nízka. Z toho dôvodu sa rozhranie mozog-počítač ukazuje ako veľmi perspektívne na komunikáciu človeka so strojom. V tejto práci je navrhnutý systém na automatické rozpoznávanie vyslovených slov pomocou mozgových vln, využívajúci metódy pokročilého spracovania signálov a metódy strojového učenia. Pre tento systém bola vytvorená databáza EEG signálov pomocou 20 dobrovoľníkov, určená na tréning a testovanie rozpoznávania hlasových povelov. Úspešnosť rozpoznania 50 vyslovených povelov pomocou EEG signálov dosiahla presnosť 5%. Hlavnou motiváciou práce bolo lepšie porozumenie produkcie reči. Rozpoznávanie reči z mozgových signálov môže zlepšiť ovládanie hlasu alebo môže pomôcť ľuďom trpiacim poruchami reči.

**Kľúčové slová** – artefakt, elektroencefalografický signál, extrakcia príznakov, hlasový povel, metóda strojového učenia, rozpoznávanie reči, skryté Markovove modely

## I. ÚVOD

V súčasnosti sa vo veľkej miere rozvíjajú metódy a techniky využívajúce rozhranie mozog-počítač (z angl. Brain-Computer Interface, skr. BCI). Cieľom BCI je zaznamenávanie a spracovávanie signálov z mozgu do takej podoby, aby bolo možné ovládať zariadenia ako je napr. počítač, invalidný vozík alebo protézy. Táto práca sa zameriava na rozpoznávanie nahlas vyslovených povelov pomocou mozgových signálov, ktorá je využiteľná v prostredí, kde nie je možné využiť mikrofón na rozpoznávanie reči. Rozpoznávanie reči zaznamenananej mikrofónom je problematické v prostredí s veľkou mierou šumu v pozadí alebo pri diskusiách s viacerými hovoriacimi.

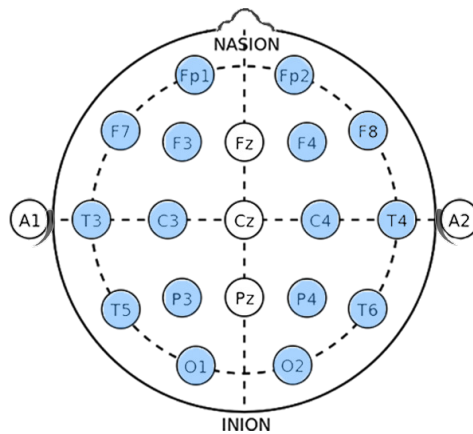
Na účely a experimentálne skúmanie metód rozpoznávania vyslovenej reči bola vytvorená databáza mozgových signálov, ktoré boli zaznamenané na povrchu hlavy neinvazívnou technikou merania mozgových vln tzv. elektroencefalografiou (EEG). Algoritmy použité na rozpoznávanie reči pomocou EEG signálov boli inšpirované technikami automatického rozpoznávania reči (hlasu), technikami a algoritmami strojového učenia. Zo zaznamenaných EEG signálov boli pre jednotlivé povely natréňované skryté Markovove modely pomocou sady programových nástrojov HTK (Hidden Markov Modeling Toolkit) [1].

### A. Súčasný výskumy zamerané na rozpoznávanie reči pomocou EEG signálov

Existuje niekoľko prístupov k rozpoznávaniu reči pomocou mozgových signálov. Jedným z nich je analýza nevyslovených slov. V práci [2] sa snažili o rozpoznávanie slov "áno" a "nie" pomocou EEG signálov. Signály boli zaznamenávané od 7 subjektov pomocou jednej elektródy pripojenej na čelovej časti hlavy. Experiment dosiahol úspešnosť správneho rozpoznania slov 56% [2].

V ďalšom výskume sa autori zamerali na rozpoznávanie nevyslovenej reči, pričom sa snažili o rozpoznanie 5 slov z medzinárodnej hláskovacej tabuľky. EEG databáza bola nahrávaná pomocou EEG čiapky so 16 elektródami a do experimentu bolo zapojených 21 subjektov. Základná hypotéza výskumu bola, že každé slovo, ktoré si človek predstaví má v mozgu zakódovaný istý vzor. Vo výskume bola dosiahnutá priemerná úspešnosť rozpoznávania slov 45,5% [3].

V inom výskume [4] autori pozorovali rôzne mozgové vlny počas produkcie reči. Pozorované subjekty sa naučili vytvárať konkrétny druh mozgových vln. Pri analýze sa zohľadňovali rozdiely v porovnaní s alfa, beta, gama a théta vlnami. Do vytvárania databázy boli zapojení 4 respondenti, ktorí vyslovovali slabiky „ba“ a „ku“. Pri snímaní EEG vln bola použitá čiapka so 128 elektródami.



Obr. 1 Konfigurácia elektród podľa systému 10/20. Modré značky reprezentujú zapojenie elektród v experimente.

## II. NAHRÁVANIE EEG SIGNÁLOV

EEG signály boli zaznamenávané pomocou EEG čiapky Ultracortex Mark III od spoločnosti OpenBCI. Záznam EEG signálu bol realizovaný vo voľne dostupnom grafickom používateľskom rozhraní OpenBCI GUI, ktoré je kompatibilné s použitou EEG čiapkou. Signály boli zaznamenávané so vzorkovacou frekvenciou 250 Hz. Počas záznamu bol každý subjekt usadený do pohodlnej polohy tak, aby sa čo najviac vyhol pohybu končatín. Zaznamenávanie EEG signálov bolo realizované vo zvukovo izolovanej miestnosti spolu so záznamom zvuku a videa. Každý subjekt počas záznamu EEG signálov čítal povely získané z databázy povelov pre servisného robota Scorpio [5]. Slovník databázy pozostával celkovo z 50 povelov.

V niektorých záznamoch sa vyskytovali chybné úseky, ktoré bolo potrebné pri spracovaní odstrániť. Tieto chyby záznamu vznikli v dôsledku nepozornosti hovoriaceho, ktorý sa pri vyslovení povelu zakoktal, alebo ho prečítal nesprávne, teda vyslovil iné slovo ako mal. V niektorých prípadoch bolo potrebné po spustení zaznamenávania EEG signálu poupraviť polohu EEG čiapky na hlave subjektu, čo vyvolalo nežiaduci signál v zázname.

### A. Elektródy

Na zaznamenávanie EEG signálov boli použité suché elektródy umiestnené na EEG čiapke. Čiapka na meranie EEG signálov obsahovala tri typy elektród. Prvým typom boli elektródy obsahujúce tupé hroty, kvôli lepšiemu prístupu elektród na povrch hlavy cez vlasy. Druhý typ boli elektródy bez hrotov. Tieto elektródy boli situované v čelovej oblasti hlavy, na pozíciách Fp1 a Fp2. Ďalšie použité elektródy boli referenčné. Na meranie bola využitá referenčná montáž, pričom referencie boli zapojené na ušných lalokoch označených A1 a A2.

Umiestnenie elektród na EEG čiapke sa riadi medzinárodným systémom 10/20 [6]. Na záznam EEG signálov bolo použité rovnomerné rozmiestnenie elektród na hlave. Toto rozmiestnenie elektród je zobrazené na Obr. 1.

### B. Databáza záznamov EEG signálov

Celá databáza pozostáva zo súboru EEG signálov, zvukových a video záznamov. Zvukový signál bol zaznamenávaný kvôli časovému značeniu vyslovených slov. Zvukový signál bol zaznamenaný so vzorkovacou frekvenciou 48kHz.

Trénovacia databáza bola vytvorená pomocou 20 dobrovoľníkov vo vekovom rozmedzí 18-28 rokov, 7 žien a 13 mužov. Pri nahrávaní trénovacej časti databázy bol počas zaznamenávania každý povel databázy zopakovaný 5 krát. Pauzy medzi vyslovenými slovami majú v každom zázname rôznu dĺžku, v závislosti od prirodzenej rýchlosti reči daného subjektu. Tabuľka 1 obsahuje informácie o jednotlivých záznamoch EEG signálov v trénovacej databáze.

Testovacia databáza bola vytvorená jedným subjektom, ktorým bol muž vo veku 23 rokov. Takáto databáza však nie je postačujúca pre komplexnú evaluáciu systému, ale postačuje na overenie funkčnosti a správnosti zvolených postupov. Subjekt vyslovoval 50 povelov 30-krát za sebou s prirodzenými pauzami medzi jednotlivými povelmi. Databáza je rozdelená do 4 záznamov. V Tabuľke 2 sú zaznačené názvy jednotlivých nahrávok a dĺžky trvania nahrávok.

Počas nahrávania EEG signálov sa vyskytlo viacero problémov. Elektródy s hroty spôsobovali to, že nasadenie EEG čiapky bolo pre niektoré subjekty bolestivé. U subjektov s hustejšími vlasmi bolo problematické zachytiť EEG signál zo všetkých elektród. Tento problém sa vyskytoval najmä u žien. Kvôli tomu viacero subjektov nebolo možné zaradiť do experimentu.

Tabuľka 1  
 Trénovacia databáza. Dĺžka záznamu je uvedená vo formáte mm:ss

Názov záznamu	Subjekt	Vek	Pohlavie	Dĺžka záznamu
1_002	4	22	M	5:49,128
1_004	5	21	F	7:29,532
1_005	6	21	F	7:59,729
1_006	7	21	F	7:11,363
1_007	8	21	M	6:53,574
1_008	9	20	M	5:07,291
1_011	1	23	F	6:02,244
1_012	2	28	M	6:05,329
1_001_1	10	25	F	10:28,00
1_003_1	11	24	M	8:32,616
1_008_1	3	23	M	8:55,410
1_009_1	12	21	M	7:50,660
1_010_1	13	21	F	6:59,953
1_002_2	14	25	F	7:41,672
1_002_3	15	20	M	5:43,156
1_003_2	16	20	M	6:02,352
1_004_2	17	20	M	7:08,472
1_005_2	18	18	M	9:00,14
1_006_2	19	20	M	6:48,58
1_001_4	20	25	M	6:08,884

Tabuľka 2  
 Testovacia databáza. Dĺžka záznamu je uvedená vo formáte mm:ss

Názov záznamu	Subjekt	Vek	Pohlavie	Dĺžka záznamu
GOPR0161	3	23	M	1:07,532
GOPR0163	3	23	M	25:59,508
GOPR0164	3	23	M	15:07,800
GOPR0165	3	23	M	9:32,996

### III. PREDSPRACOVANIE SIGNÁLU

EEG signály boli predspracované v programovacom prostredí MATLAB. V prvom kroku boli manuálne odstránené chybné časti signálov, ktoré vznikli v procese záznamu. Tieto chyby boli odstránené vystrihnutím, ak sa nachádzali na začiatku alebo konci nahrávky, alebo vynulovaním časti signálu, ak sa chyba nachádzala uprostred. Nulovanie signálu bolo vykonané v programovacom prostredí MATLAB, pomocou funkcie `zeros`.

#### A. Normovanie

Ďalším krokom predspracovania bolo odstránenie jednosmernej zložky.

$$\tilde{x} = x - \text{mean}(x), \quad (1)$$

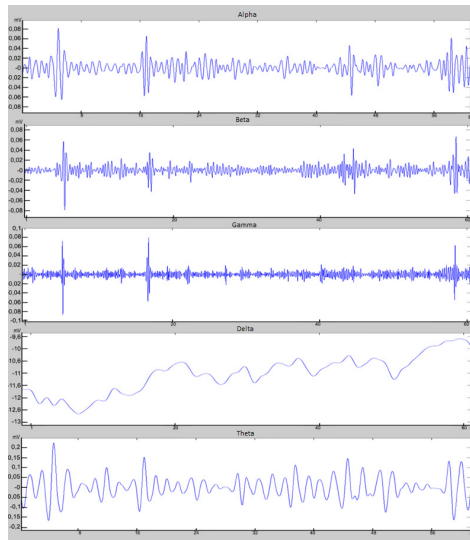
kde  $\tilde{x}$  je signál bez jednosmernej zložky a  $x$  predstavuje pôvodný signál. Keďže jednotlivé dáta dosahovali veľkú variabilitu, čo spôsobovalo značné problémy pri testovaní modelov v HTK, boli hodnoty signálov vo všetkých kanáloch normované tak, aby dosahovali maximálnu veľkosť amplitúdy, t.j. od -3 do 3. Normovanie bolo vykonané tak, aby si signály v jednotlivých kanáloch zachovali svoj vzájomný pomer amplitúd. V každom zázname EEG signálov bola vypočítaná maximálna a minimálna hodnota spomedzi všetkých kanálov a na základe týchto hodnôt boli normované všetky hodnoty signálu. Normovanie bolo realizované pomocou vzťahu:

$$\hat{x} = (b - a) \frac{\tilde{x}(i) - \min(\tilde{x})}{\max(\tilde{x}) - \min(\tilde{x})} + a, \quad (2)$$

kde  $a = -3$  a  $b = 3$ ,  $\tilde{x}$  reprezentuje vstupný signál a  $\hat{x}$  normovaný signál. Normovaný signál bol potom rozdelený na rámce dĺžky 48 ms s prekrývaním 50%. Tieto parametre boli zvolené empiricky. Pri vzorkovacej frekvencii 250 Hz je tak rámec dĺžky 48 ms reprezentovaný 12 vzorkami. Vzorkovacia frekvencia 250 Hz je postačujúca pre zaznamenávanie frekvencií do 125 Hz, čo zodpovedá frekvenciám skúmaných typov mozgových vln.

#### B. Filtrácia artefaktov

Filtrovanie signálu bolo realizované Butterworthovými filtermi. Butterworthov filter má extrémne ploché frekvenčné charakteristiky v priepustnom pásme a narozdiel od iných filtrov neobsahuje zvlnenia. Na každý rámec signálu bol aplikovaný hornopriepustný filter nastavený na hodnotu 3 Hz, čím sa eliminovali elektrookulografické artefakty (EOG) [7]. Pre dolnopriepustný



Obr. 2 Rozloženie EEG signálov do 5 frekvenčných pásiem.

filter bola zvolená hodnota 51 Hz. Takýmto spôsobom sa odstránili artefakty svalovej aktivity a náhodné šumy. Následne bol na signál aplikovaný úzkopásmový „notch“ filter nastavený na 50 Hz, ktorým bol odstránený artefakt spôsobený elektrickým napájaním [8].

### C. Extrakcia príznačkov

Následne bol z každého filtrovaného rámca vypočítaný jeho príznačkový vektor určujúci energiu rámca, podľa vzťahu:

$$E = \sum_{i=1}^n x(i)^2, \quad (3)$$

kde  $x(i)$  predstavuje  $i$ -tu vzorku rámca a  $n$  je počet vzoriek v jednom rámci. Vypočítané energetické príznačky boli uložené do matice  $d \times c$ , kde  $d$  je počet rámcov v nahrávke a  $c$  predstavuje počet kanálov signálu.

## IV. TRÉNOVANIE A TESTOVANIE HMM MODELOV

Experiment rozpoznávania vyslovených slov z mozgových vln bol realizovaný pomocou programovej sady HTK.

Zo záznamov EEG signálov bolo vytvorených ďalších 7 podmnožín, vzhľadom na 5 frekvenčných pásiem typických mozgových vln a rozloženia elektród. Takto bola vytvorená množina EEG signálov pre alfa, beta, gama, delta a théta vlny a množina signálov zaznamenaných na pravej a ľavej hemisfére. Frekvencia gama vln je v rozmedzí 31-100 Hz, beta 16-30 Hz, alpha 8-15 Hz, théta 4-7 Hz, delta 0,1-3 Hz [9].

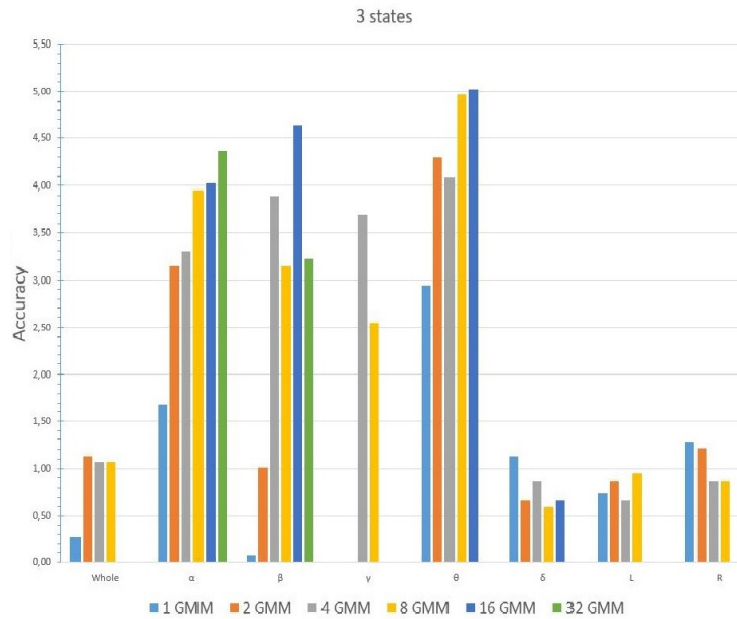
Na vytvorenie HMM modelov bolo použitých niekoľko rôznych nastavení stavov HMM, od 3 (1 emitujúci) až po 8 (6 emitujúcich) stavov. Pre tieto stavy boli vytvorené modely s počtom zmesí GMM (z angl. Gaussian Mixture Models): 1, 2, 4, 8, 16 a 32. Popri trénovaní modelov pre hlasové povely bol vytvorený aj model pozadia, ktorý bol natrénovaný z častí, v ktorých nebol vyslovený žiaden povel [10].

## V. EXPERIMENTÁLNE VÝSLEDKY

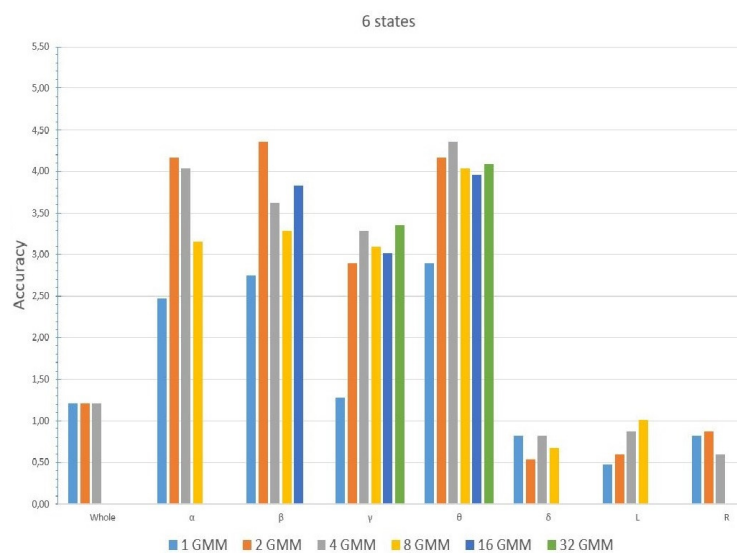
Výsledky rozpoznávania vyslovených povelov pomocou mozgových vln pre rôzne modely GMM sú zobrazené na Obr. 3, Obr. 4 a Obr. 5. Grafy znázorňujú výsledky testov pre 3-, 6- a 8-stavové HMM modely.

Keďže sú rečové centrá v mozgu lokalizované v ľavej hemisfére, v experimente bolo vyhodnotené rozloženie databázy záznamov EEG signálov na množinu záznamov EEG signálov pochádzajúcich len z ľavej a len z pravej hemisféry.

V ďalšom experimente boli zo všetkých 16 záznamov EEG signálov vyselektované len signály pre 5 frekvenčných pásiem na základe frekvencií bežných mozgových vln. Tento experiment mal určiť, ktoré frekvenčné pásmo obsahuje najviac informácií o rečovej aktivite v mozgu.



Obr. 3 Výsledky testovania pre 3-stavové HMM modely



Obr. 4 Výsledky testovania pre 6-stavové HMM modely

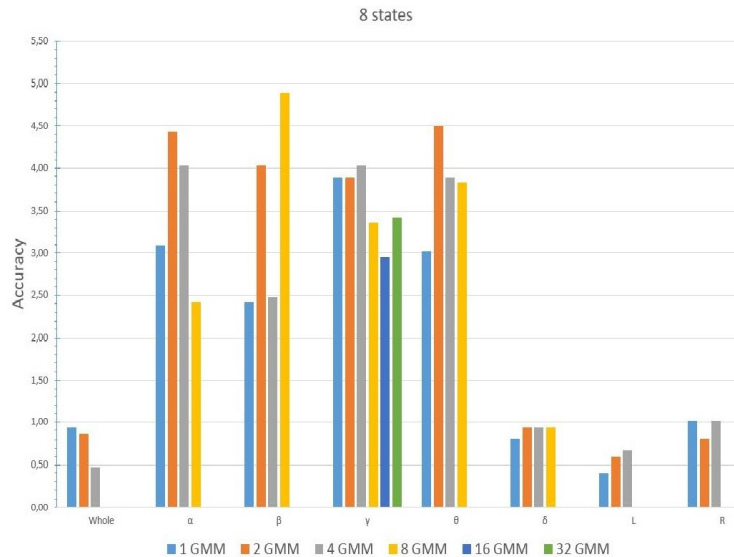
Výsledky hodnotenia natrénovaných modelov na celej množine databázy boli veľmi nízke, úspešnosť bola na hranici 1%.

Rozdelenie databázy na signály z ľavej a pravej hemisféry malo len minimálny vplyv na testovanie rozpoznávania povelov. Najvyššiu presnosť rozpoznávania povelov pri snímaní EEG signálov z ľavej hemisféry dosahovala hodnotu 0,94% a pri snímaní EEG signálov z pravej hemisféry bola najvyššia dosiahnutá presnosť 1,28%.

Rozdelenie databázy do 5 frekvenčných pásiem podľa frekvencií mozgových vln prinieslo zlepšenie. Najvyššia presnosť rozpoznávania povelov bola dosiahnutá pre množiny alfa, beta a theta vln. Konkrétne pre EEG signály s frekvenciou alfa vln to bolo 4,43%, pre beta vlny 4,90% a theta vlny 5,03%.

Takéto nízke výsledky boli pravdepodobne spôsobené väčším počtom subjektov, no nedostatočným množstvom dát. V budúcnosti bude potrebné vytvoriť databázu záznamov EEG signálov s väčším množstvom dát pre jedného hovoriaceho.

Lepšie výsledky by mohli byť dosiahnuté aj použitím iného typu vektorov príznakov.



Obr. 5 Výsledky testovania pre 8-stavové HMM modely

#### POĎAKOVANIE

Táto práca vznikla vďaka podpore Kultúrnej a edukačnej grantovej agentúry realizáciou projektu KEGA 055-TUKE-4/2016, vďaka podpore Vedeckej grantovej agentúry realizáciou projektu VEGA 1/0075/15, a vďaka podpore Agentúry na podporu výskumu a vývoja realizáciou projektu APVV-14-0894, financovaných z prostriedkov Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR.

#### LITERATÚRA

- [1] S. Young, G. Evermann, M. Gales, T. Hain, D. Kershaw, X. Liu, G. Moore, J. Odell, D. Ollason, D. Povey *et al.*, "The HTK book," *Cambridge university engineering department*, vol. 3, p. 175, 2002.
- [2] M. Salama, H. L. Lo'ay ElSherif, and T. Gamal, "Recognition of unspoken words using electrode electroencephalographic signals."
- [3] A. Porbadnigk, M. Wester, and T. S. Jan-p Calliess, "EEG-based speech recognition impact of temporal effects," 2009.
- [4] M. D'Zmura, S. Deng, T. Lappas, S. Thorpe, and R. Srinivasan, "Toward EEG sensing of imagined speech," *Human-Computer Interaction. New Trends*, pp. 40–48, 2009.
- [5] S. Ondas, J. Juhar, M. Pleva, A. Cizmar, and R. Holcer, "Service robot SCORPIO with robust speech interface," *International Journal of Advanced Robotic Systems*, vol. 10, no. 1, p. 3, 2013.
- [6] L. Trambaiolli, A. Lorena, F. Fraga, P. Kanda, R. Nitri, and R. Anghinah, "Does EEG montage influence Alzheimer's disease electroclinic diagnosis?" *International Journal of Alzheimer's Disease*, vol. 2011, 2011.
- [7] A. Tandle and N. Jog, "Classification of artefacts in eeg signal recordings and overview of removing techniques."
- [8] A. Widmann, E. Schröger, and B. Maess, "Digital filter design for electrophysiological data—a practical approach," *Journal of neuroscience methods*, vol. 250, pp. 34–46, 2015.
- [9] S. Sanei, *Adaptive processing of brain signals*. John Wiley & Sons, 2013.
- [10] J. JUHÁR, "Spracovanie signálov v systémoch automatického rozpoznávania reči," *Technická univerzita v Košiciach, Habilitačná práca*, 1999.

# Interaction techniques in CAVE LIRKIS

*Peter PASTORNICKÝ, Branislav SOBOTA, Štefan KOREČKO, Ladislav JACHO, Marián HUDÁK*

Department of Computer and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

peter.pastornicky@tuke.sk, branislav.sobota@tuke.sk, stefan.korecko@tuke.sk,  
ladislav.jacho@tuke.sk, marian.hudak@tuke.sk

**Abstract** — This paper deals with the problem of interaction in CAVE systems with respect to the level of user immersion into the 3D virtual environment. The LIRKIS laboratory has such CAVE system and therefore the paper is also deals with the options and solutions for this CAVE. Level of interaction was increased by devices such as keyboard, mouse, space mouse, joystick and gamepad. The advantage in implementation of last two devices is the ability to using for any computer that is connected to the same network as CAVE.

**Keywords** — CAVE, interaction, immersion, markers, movements

## I. INTRODUCTION

Virtual reality (VR) constantly increases its position in the world. There are many solutions and technological possibilities which includes VR in daily activities, entertainment, trainings, industrial improvements or rehabilitations. However, such activities increase the demands for interaction and level of immersion. Currently, there are many solutions for visualizing the virtual environment, such as VR glasses, HMD or CAVE systems. In each of these systems is necessary to solve the interaction in different way, due to the different display methods. The LIRKIS laboratory has a CAVE system and therefore this paper is focused on such VR capabilities. There are many CAVE systems that address the level of immersion and interaction, so it was necessary to extend the possibilities for the CAVE system in our own way. This created new interfaces for better interaction.

The interface can also find application in the field of education (the learning process), medicine (in operations), construction in the planning and design, in the military sphere (showing the position of the enemy soldier in perspective) as well as for advertising and presentation purposes.

## II. CAVE SYSTEMS AND THEIR INTERACTIONS

Currently, there are many tools supporting immersed VR approach and the one of the most fully immersive systems for virtual reality environments is the Cave Automatic Virtual Environment (CAVE) system. The most used shape is a cube. The walls of the cube serve as a display surface using rear projection. Usually, they used 5 or 4 walls of the cube and their use is described in papers [1], [2], [3]. For better viewing angles is also used the cylindrical form, which consist of flat screens or curved surfaces (Fig. 1 - a) and creates the 270 degrees cylindrical image. The advantage of curved surfaces is fewer passes and the problem with wrapping image [4]. Disadvantage is rear projection, which creates the impression of stretched picture and possible problems with binding of images from projectors. An example of a cave with a cylindrical shape is CAVE2 [5] (Fig. 1 - b) or CAVE in our LIRKIS laboratory [6] (Fig. 1 - c). The main difference of these two CAVEs is that CAVE2 uses 72 LCD panels and creates a larger internal screen space. On the other hand, our CAVE uses LCD displays for the upper and lower base of the cylinder. As a result, absorption is not lost in virtual environments even if the cave consists only of 20 displays.

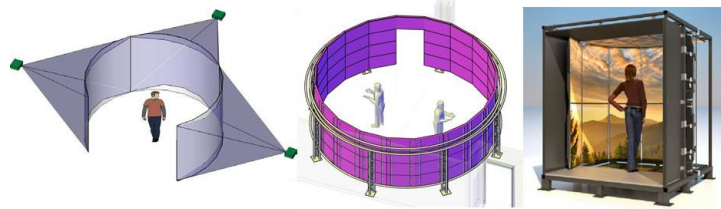


Fig. 1 a) Prototype of CAVE with curved surfaces (left) [4], b) prototype of CAVE2 (middle) [5], c) prototype of CAVE in LIRKIS laboratory (right) [6]

One of the greatest challenges in the CAVE systems is the way of interaction. Currently it can be used two types of wands [4] or markers only [3] using optical sensors. To recognize the trajectories of hand gesture can be adopted e.g. Hidden markov model (HMM) [2].

Typically, tracking system can be optical (e.g. OptiTrack) or infra-red (e.g. Kinect) [7]. Optical sensors need to have a set of markers for proper detection of movements and gestures, but infra-red not. Exist also combination of infra-red sensor using a marker giving better motion detection (e.g. finger tracking) [8].

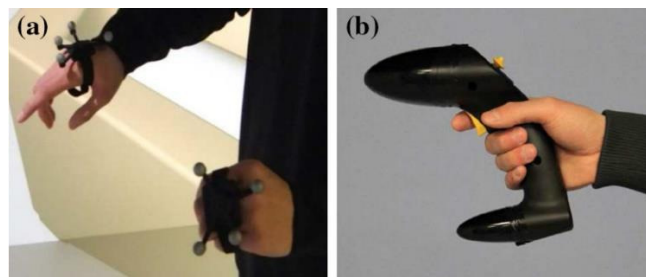


Fig. 2 Two interaction techniques: a) hand interactions via markers, and b) wand interactions [3]

### III. LIRKIS SOLUTION FOR CAVE INTERACTION

Our laboratory has a cylindrical type of CAVE (Fig. 3). It is a room where the walls, as well as the floor and ceiling are projection screens or flat displays. With the 3D projection and 3D glasses user feels immersed into the projected world where he can move freely. Human motion capture is possible with camera-based systems such as OptiTrack, which captures the movement via special markers. A marker may be attached to the 3D glasses, so the scene can be displayed in the correct viewing angle for the user. This enables, for example, to really look under a table after moving the head down. The CAVE system available in LIRKIS is of unique, cylinder based construction. It consists of twenty 55" 3D LCD TVs with passive 3D technology and circular polarization. The TVs are distributed along the sides (14 TVs) as well as the top (3 TVs) and the bottom (3 TVs). They are supported by a steel frame (about 2.5x2.5x3 meters), that can be disassembled at any time and transferred to another location. This provides a significant advantage, although the total weight is about 2 tons. The bottom TVs are installed under a safety glass that can support the weight of 5 adults.



Fig. 3 User in cylindrical CAVE system from LIRKIS laboratory



The system of eight “OptiTrack Flex 13” cameras is used for the detection of human movement. They are arranged along the top of the CAVE to provide the best capturing performance. In the current configuration, with one marker mounted to the 3D glasses, only rigid body monitoring and streaming is possible. Therefore, we intend to use a hand kit to track hands and all fingers. The CAVE it also equipped with a 6-channel audio system that adds to the illusion of a 3D environment. The entire CAVE is powered by 7 computers, embedded in a rack, each with NVIDIA Quadro K5000 graphic card. Each computer, except one which manages the computation, produced image for 3 to 4 TVs as one part of a whole 3D screen.



Fig. 4 a) OptiTrack Flex 13 camera system (left), b) rigid body marker for recognition only body movements (middle) c) hand kit marker for finger recognition

This system didn't recognize the virtual movements in the scene, only 3D preview. Therefore, it was necessary to add interaction possibilities, at first for the basic movements in the scene. However, SuperEngine, current engine used in our CAVE, is closed system where only keyboard and mouse inputs were available, but not implemented. Our solution includes implementation of these inputs (keyboard, mouse) using local network and extending Java Console Application. Mouse movement is limited by engine to resolution of only 1 screen, so it cannot rotate the camera all over the scene. For simpler moving in 3D scene it also available a space mouse which allows easily navigate camera in the scene with 6 degrees of freedom (6-DOF). This device has separate application (Fig. 4). After running the application, it is possible to connect/disconnect the space mouse. In addition, two separate applications were created for joystick and gamepad (Fig. 5). These applications receive an input parameters from devices, process these parameters and after that send the motion information in correct format to the scene. Applications are created in Java and they are also independent of the engine, so it is possible to transfer the application to any computer, connect to same network as CAVE and control movements in the scene. The advantage of such inputs is possibility to adjust 3D scene as needed and increase the level of interaction and immersion.

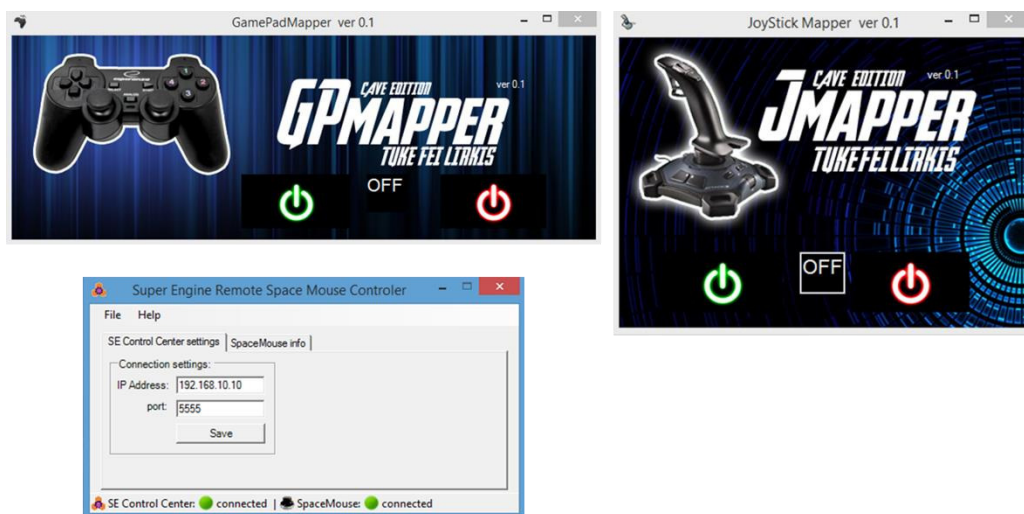


Fig. 5 Console application for a) gamepad (top left), b) joystick (right) c) space mouse (bottom left)

#### IV. CONCLUSION

This paper describes the current state of CAVE systems and their interaction possibilities. These possibilities also increase the level of immersion to the 3D environment. Therefore, work deals with similar systems in the world and their interaction possibilities. Research shows, there is still a problem with fingers-driven gestures. Available solutions only deal with the interaction by external devices. As a result, a solution for the CAVE system of the LIRKIS laboratory was created. This system was extended with the ability to control scene motion using keyboard, mouse, space mouse, gamepad and joystick. For the last two devices, external Java applications was created to control the movements of the CAVE from any computer. Increasing interaction with these input devices shows faster and more effective manipulation in virtual environment, which also increases the efficiency of testing and further research.

#### ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract No. SK-PT-2015–0037 and by the Portugal-Slovakia Cooperation FCT Project (Ref. 441).

#### REFERENCES

- [1] F. Sorgini, R. Ghosh, J. F. Huebotter, R. Calì, C. Galassi, C. M. Oddo, and S. L. Kukreja, "Design and preliminary evaluation of haptic devices for upper limb stimulation and integration within a virtual reality cave," in *Biomedical Robotics and Biomechanics (BioRob)*, 2016 6th IEEE International Conference on. IEEE, 2016, pp. 464–469.
- [2] Z. Zhang, T. McInerney, N. Zhang, and L. Guan, "A cave based 3d immersive interactive city with gesture interface," in *22nd WSCG international conference on computer graphics, visualization and computer vision*, Plzen, Czech Republic, 2014.
- [3] X. Nan, Z. Zhang, N. Zhang, F. Guo, Y. He, and L. Guan, "vdesign: a cave-based virtual design environment using hand interactions," *Journal on Multimodal User Interfaces*, vol. 8, no. 4, pp. 367–379, 2014.
- [4] L. Abramyan, M. Powell, and J. Norris, "Stage: Controlling space robots from a cave on earth," in *Aerospace Conference, 2012 IEEE*. IEEE, 2012, pp. 1–6.
- [5] A. Febretti, A. Nishimoto, T. Thigpen, J. Talandis, L. Long, J. Pirtle, T. Peterka, A. Verlo, M. Brown, D. Plepys et al., "Cave2: a hybrid reality environment for immersive simulation and information analysis," in *Is&spie electronic imaging*. International Society for Optics and Photonics, 2013, pp. 864 903–864 903.
- [6] B. Sobota, Š. Korečko, L. Jacho, and P. Pastornický, "Advanced visualization components in the environment of virtual-reality," in *10<sup>th</sup> Workshop on Intelligent and Knowledge oriented Technologies 2015*. TU, 2015, pp. 20–23.
- [7] N. E. D. Elmadany, Y. He, and L. Guan, "Human gesture recognition via bag of angles for 3d virtual city planning in cave environment," in *Multimedia Signal Processing (MMSP), 2016 IEEE 18th International Workshop on*. IEEE, 2016, pp. 1–5.
- [8] W. Zhao, J. Chai, and Y.-Q. Xu, "Combining marker-based mocap and rgb-d camera for acquiring high-fidelity hand motion data," in *Proceedings of the ACM SIGGRAPH/eurographics symposium on computer animation*. Eurographics Association, 2012, pp. 33–42.

# Verifikácia vlastnosti stabilnej regulačnej štruktúry na HIL pracovisku

<sup>1</sup>Peter TALIAN, <sup>2</sup>Daniela PERDUKOVÁ

<sup>1,2</sup> Katedra elektrotechniky a mechatroniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

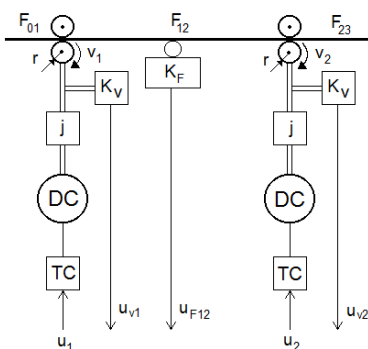
<sup>1</sup>peter.talian@tuke.sk, <sup>2</sup>daniela.perdukova@tuke.sk

**Abstract** — Kvalita riadenia ťahu v strednom úseku kontinuálnej linky výrazne ovplyvňuje kvalitu finálneho produktu linky, či už ide o plech, rúrky, plastovú fóliu alebo výrobu papiera a pod. Hlavná požiadavka spočíva v tom, aby samotný ťah bol konštantný a neoscilujúci v materiáli počas všetkých prevádzkových stavov linky a to: rozbeh linky, dobeh linky, poruchy ťahu ovplyvňujúce časť linky pred a za stredným úsekom a samozrejme aj zmeny parametrov (napr. momentu zotrvačnosti) a pod. Predložený príspevok sa zaoberá metódami hardware-in-the-loop simulácií. Je venovaný vytváraniu modelu regulačnej štruktúry podľa II. Ljapunovovej metódy v programe MATLAB Simulink. Následne tento spojený model je potrebné diskretizovať na diskretný model, pričom štruktúra je rozdelená na časť s regulátorom a časť so samotným modelom strednej časti kontinuálnej linky. Navrhnutý model strednej časti kontinuálnej linky je implementovaný v programovateľnom automate PA, kde je možné pomocou operátorského panelu zobrazovať priebehy jednotlivých sledovaných veličín.

**Keywords** — hardware-in-the-loop (HIL), programovateľný automat (PA), kontinuálna linka, II. Ljapunovová metóda

## I. ÚVOD

V priemyselných prevádzkach sa okrem sólo pohonov je možné stretnúť aj s navzájom zviazanými elektrickými pohonmi (napríklad cez spracovaný materiál, pružné členy a pod.), čím sa výrazne ovplyvňujú ich vlastnosti. Takto zviazané elektrické pohony posudzujeme ako jeden celok a hovoríme mu tzv. pohonársky komplex. V tomto príspevku je uvažovaný model strednej časti kontinuálnej linky pre spracovanie spojitého toku materiálu (napr. pásov plechu, papierenské linky a pod.) vid' obr.1.



Obr. 1 Štruktúrna schéma strednej časti KL [13]

Z hľadiska riadenia je to vlastne systém s viacerými vstupmi a výstupmi, ktorý je v stavovom priestore popísaný rovnicou:

$$\dot{x} = Ax + Bu + v \quad (1)$$

kde  $A$  je stavová matica riadiaceho systému,  $B$  matica vstupov riadiaceho systému,  $x$  je stavový vektor systému,  $u$  je vektor vstupov a  $v$  je vektor aditívnych porúch, ktoré vplyvajú na systém.

Hlavným cieľom samotného riadenia tohto uvažovaného pohonárskeho komplexu zabezpečiť okrem požadovanej dynamiky aj autonómnosť nastavovania jednotlivých výstupných veličín a

ich invariantnosť voči parametrickým aj aditívnym poruchám.

Autonómnosť systému je možné zabezpečiť vhodnou voľbou takého referenčného modelu, ktorý pozostáva z viacerých autonómnych podsystémov. Úlohou regulátora je zabezpečiť, aby pohonársky komplex sledoval samotný referenčný model. Z toho dôvodu bude aj samotný pohonársky komplex autonómne vlastnosti.

Invariantnosť systému pohonárskeho komplexu voči neznámym poruchám rezultujú z PI charakteru regulátora a z jeho dynamických vlastností.

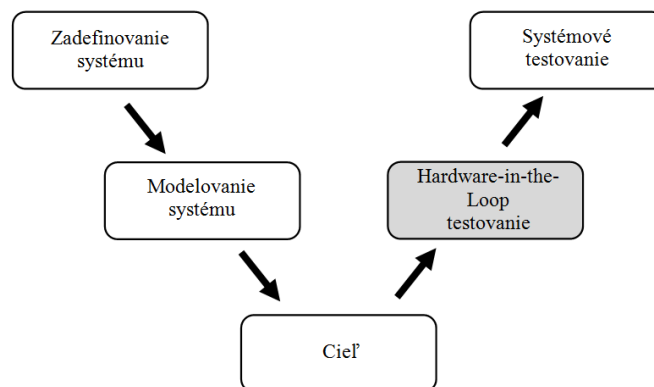
## II. HARDWARE-IN-THE-LOOP SIMULACIE PRE POHONÁRSKE KOMPLEXY

HIL simulačný systém má mnohé výhody a to zníženie samotných nákladov spojených s vývojom a tým následne aj skrátenie doby samotného vývoja. Preto bola táto metóda použitá v oblasti automobilových systémov, výkonovej elektroniky, elektrických pohonov a pod. [1].

### A. Postupnosť krokov pri HIL simulácii

Hlavné kroky v HIL simulácii sú nasledovné:

1. *Vytvorenie matematického modelu*
  - vytvorenie matematického modelu skutočného systému, ktorého hardware je určený pre použitie v technologickom procese.
2. *HIL simulácie (softvér + hardvér)*
  - testovanie zariadenia na simulovanom procese.
3. *Implementácia hardvéru do reálneho procesu*
  - ak je všetko v poriadku, je možná implementácia hardvérového zariadenia v reálnom prostredí, pre ktorý bol realizovaný.



Obr. 2 Cyklus návrhu riadiaceho systému

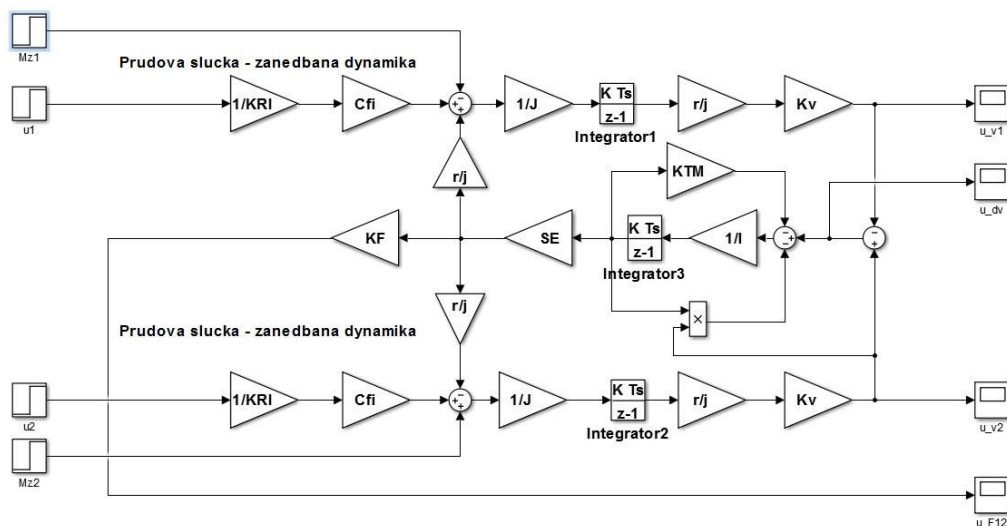
Cieľom tohto postupu je realizácia hlavnej podstaty HIL simulácie. Prvým krokom je simulácia systému v programovom prostredí. Ďalším krokom je testovanie hardvéru na simulovanom procese. Posledným krokom je výsledná implementácia hardwaru v reálnom systéme vid' obr. 2. [11]

### B. Regulačná štruktúra strednej časti kontinuálnej linky

Kvôli samotnému zjednodušeniu predpokladajme, že menič má proporcionálny prenos a zabudovanú podradenú prúdovú slučku. Časová konštanta prúdovej slučky je podstatne kratšia v porovnaní s časovými slučkami ďalších podsystémov strednej časti kontinuálnej linky, z tohto predpokladu ju môžeme zanedbať. [7]

Systém strednej časti KL s dvoma strojmi obsahuje tzv. „rýchly“ ťahový podsystém a „pomalý“ rýchlostný podsystém. [13]

Na Obr. 3 je ilustrovaná bloková schéma strednej časti kontinuálnej linky za týchto predpokladov pre definovaný pracovný bod linky. Programová schéma strednej časti kontinuálnej linky so vstupmi  $u_1, u_2$ . Ako poruchy  $M_{z1}, M_{z2}$  tu pôsobia ťahy  $F_{01}, F_{23}$  pred a za strednou časťou KL. Simuláciou sme získali grafické priebehy rýchlostí  $v_1, v_2$  ako aj rozdiel rýchlostí a grafický priebeh ťahu  $F_{12}$  v závislosti od času.



Obr. 3 Bloková schéma spojitého modelu strednej časti KL

V blokovej schéme na Obr. 3 je použitý model jednosmerného cudzobudeného motora. Blok „Pružná väzba“ charakterizuje vlastnosti pásu. Existuje viacero možností modelovania pružnej väzby, ale v tejto práci budeme uvažovať model pružnej väzby materiálu podľa Brandenburga.

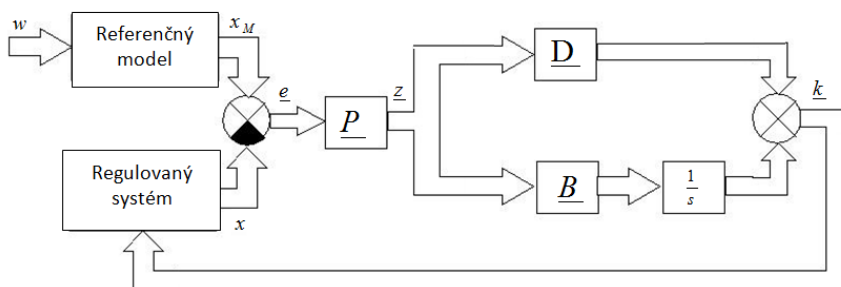
Pre stavový popis strednej časti kontinuálnej linky s uvažovaním modelu pružnej väzby podľa Brandenburga platí nasledovné:

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{r^2 K_V}{j^2 J K_F} & 0 \\ -\frac{K_F SE}{v_0 T_{12} K_V} & -\frac{1}{T_{12}} & \frac{K_F SE}{v_0 T_{12} K_V} \\ 0 & -\frac{r^2 K_V}{j^2 J K_F} & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\underline{B} = \begin{bmatrix} \frac{c\phi r K_V}{j J K_I} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{c\phi r K_V}{j J K_I} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\underline{C} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Zo stavového prenosu je možné vidieť, že vstupná matica B obsahuje riadok s nulovými prvkami, to znamená, že neumožňuje regulátoru priamo ovplyvňovať druhú stavovú veličinu, čo predstavuje samotný ťah v páse materiálu. Tento problém je však možné riešiť privedením zložky kompenzačného vektora do referenčného modelu v zmysle II. Ljapunovovej metódy, konkrétne do ťahového podsystemu ku odpovedajúcej stavovej veličine  $x_{2M}$ .



Obr. 4 Stabilná štruktúra systému s referenčným modelom

Parametre referenčného modelu (Obr. 4) boli určené na základe požadovanej dynamiky a to pomocou metódy rozloženia pólov samotnej charakteristickej rovnice, vid' literatúra [5].

Regulátor podľa Ljapunova bude obsahovať tri zložky kompenzačného vektora:

$$k_1 = \beta_1 \int z_1 dt + \beta_1 \delta_1 z_1 \quad (5)$$

$$k_2 = \beta_2 \int z_2 dt + \beta_2 \delta_2 z_2 \quad (6)$$

$$k_3 = \beta_3 \int z_3 dt + \beta_3 \delta_3 z_3 \quad (7)$$

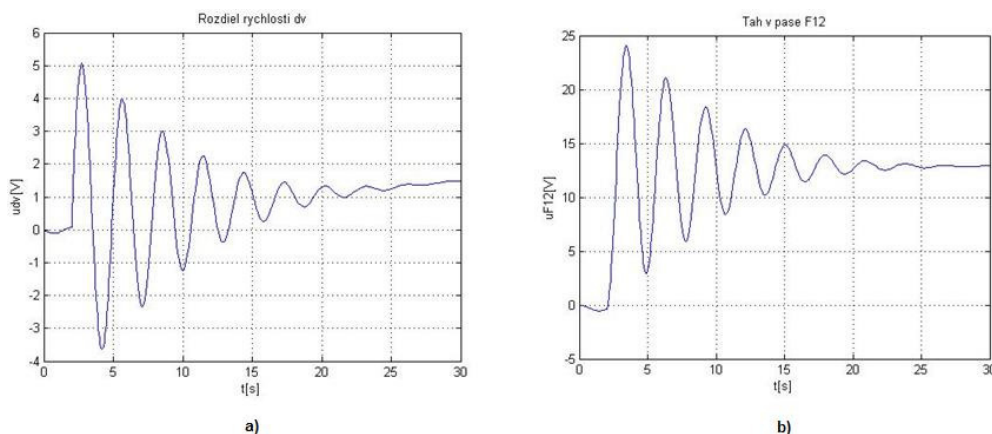
Samotným ladením systému sme vybrali najvhodnejšiu kombináciu matic  $\underline{\beta}$ ,  $\underline{\delta}$  a  $\underline{Q}$ , ktoré vykazovali najlepšie dynamické vlastnosti pohonu:

$$\underline{\beta} = \begin{bmatrix} 40 & 0 & 0 \\ 0 & 40 & 0 \\ 0 & 0 & 40 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\underline{\delta} = \begin{bmatrix} 20 & 0 & 0 \\ 0 & 20 & 0 \\ 0 & 0 & 20 \end{bmatrix} \quad (9)$$

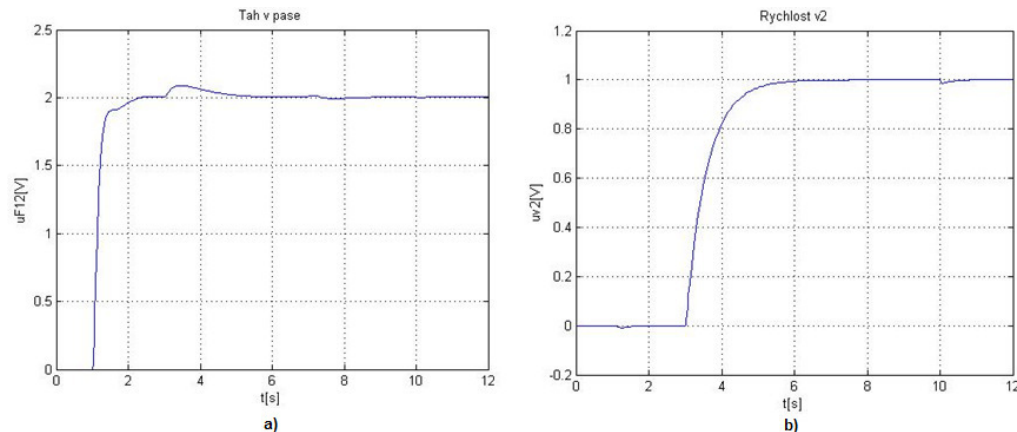
$$\underline{Q} = \begin{bmatrix} 10 & 0 & 0 \\ 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 10 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Tak ako pri rýchlosti  $v_1$  aj pre rýchlosť  $v_2$  spojitého modelu kontinuálnej linky platí, že v čase  $t=0s$  bolo privedené napätie na vstup  $u_1$  a vstup  $u_2$ . V čase  $t=2s$  bol privedený jednotkový skok na poruchový vstup  $M_{z2}$  a na poruchový vstup  $M_{z1}$ . Na Obr. 5a je ilustrovaný grafický priebeh rozdielu rýchlostí spojitého modelu kontinuálnej linky.



Obr. 5 Grafický priebeh diskrétného modelu kontinuálnej linky:  
 a)  $dv$  - rozdiel oboch rýchlostí, b) F12 ťahu v páse materiálu

Grafický priebeh ťahu  $F_{12}$  spojitého modelu kontinuálnej linky je uvedený na Obr. 5b. Ťah  $F_{12}$  je ovplyvnený ťahom  $F_{01}$  na začiatku a  $F_{23}$  na konci kontinuálnej linky.



Obr. 6 Odozvy linky na skokové zmeny riadiacich veličín modelu kontinuálnej linky s regulačnou štruktúrou

V čase  $t=1s$  bolo privedené napätie 2V na vstup  $u_1$  a v čase  $t=3s$  bolo privedené napätie 1V na vstup  $u_2$ . V čase  $t=7s$  bol privedený jednotkový impulz na poruchový vstup  $M_{z1}$  a v čase

$t=10s$  na poruchový vstup  $M_{z2}$ . Na Obr. 6b sa nachádza odsimulovaný priebeh obvodovej rýchlosti  $v_2$  za rovnakých podmienok. Z grafického priebehu Obr. 6a je možné vidieť, že regulácia zabezpečí dosiahnutie želaného ťahu do 0,6s a dosiahnutie želaner rýchlosti do 3s od okamihu privedenia napätia. Taktiež je možné z grafických priebehov konštatovať, že systém dokáže vyregulovať poruchu do 1 sekundy od jej vzniku.

### C. Verifikácia vlastností riadenia kontinuálnej linky pomocou HIL pracoviska

Pomocou nástroja Trace v programovom prostredí Automation Studio su odsledované grafické priebehy ťahu v páse  $F_{12}$  a obvodovej rýchlosti  $v_2$  počas HIL simulácie. Na Obr.7 je znázornený grafický priebeh ťahu v páse  $F_{12}$  počas HIL simulácie regulačnej štruktúry pre strednú časť kontinuálnej linky.



Obr. 7 Grafický priebeh ťahu v páse  $F_{12}$  odsnímaný počas HIL simulácie



Obr. 8 Grafický priebeh obvodovej rýchlosti  $v_2$  odsnímaný počas HIL simulácie

V čase  $t=0,6s$  vznikla požiadavka na vstupe  $u_1$  s hodnotou 1V. Porucha  $M_{z1}$  nastala v čase  $t=3,7s$ . Na Obr. 8 je zobrazený grafický priebeh obvodovej rýchlosti  $v_2$  počas HIL simulácie regulačnej štruktúry pre strednú časť kontinuálnej linky.

## III. ZÁVER

V článku je stručne popísaný význam hardware-in-the-loop simulácií, ktorý je aplikovaný na model strednej časti kontinuálnej linky s dvoma motormi. Pomocou softvérového prostriedku MATLAB boli odsimulovali priebehy veličín strednej časti kontinuálnej linky v spojitom a následnej diskretizovanom tvare potrebnom pre samotnú HIL simuláciu. V programovom prostredí MATLAB Simulink je vytvorená regulačná štruktúra pomocou II. Ljapunovovej metódy pre riadenie strednej časti KL a následne sa overili jej vlastnosti.

Výstupné priebehy sa zhodovali s priebehmi zo simulácie v programovom prostredí MATLAB Simulink. Tým bola verifikovaná funkčnosť a definované vlastnosti koncepcie HIL pracoviska.

HIL simulácia významne skraca celkovú dobu vývoja a umožňuje realizovať rôzne testy, ktoré nemôžu byť zrealizované na skutočnom systéme z hľadiska vysokých nákladov alebo rôznych bezpečnostných dôvodov ako je napríklad poruchová prevádzka a pod.

## DODATOK

Parametre strednej časti kontinuálnej linky použitej pre simuláciu sú:

Parametre motorov:

$$c\phi = 0,043 \text{ Vs}$$

$$J = 0,002 \text{ kgm}^2$$

$$I_N = 8,5 \text{ A}$$

$$P_N = 140 \text{ W}$$

$$U_N = 24 \text{ V}$$

$$R_A = 0,7 \Omega$$

$$n_N = 3650 \text{ ot/min}$$

$$M_N = 0,37 \text{ Nm}$$

$$L_A = 90 \mu\text{H}$$

Parametre prevodovky a valcov:  $j = 24$   $r = 0,04$  m

Parametre snímačov:

prúdu:  $K_I = 2$  V/A  
rýchlosti:  $K_V = +6,6$  V/ms<sup>-1</sup>  
táhu:  $K_F = 0,022$  V/N

Parametre materiálu:

Konštanta pružnosti  $K_P = 4 \cdot 10^3$  Nm<sup>-1</sup>  
Konštanta tlmenia  $K_T = 160$  Nsm<sup>-1</sup>  
Rýchlosť v ustálenom pracovnom bode  $v_0 = 0,6$  ms<sup>-1</sup>  
Časová konštanta  $T_{12} = 2,25$  s  
Modul pružnosti materiálu  $SE = 5400$  N

## POĎAKOVANIE

Tento článok bol vypracovaný v rámci projektu "Výskum unikátneho nízkoenergetického statického zdroja pre elektrosystémy.", ITMS 26220220029

## POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] P. Talian, "Hardware-in-the-Loop method for electric drives", in SCYR, 15<sup>th</sup> Scientific Conference of Young Researchers. Košice, 2015.
- [2] S. Grubic, B. Amlang, W. Schumacher, A. Wenzel, "A High-Performance electronic Hardware-in-the-Loop Drive-Load Simulation Using a Linear Inverter" In: IEEE Trans. Industrial Electronic, vol.57, No. 4, pp. 1208–1216, April 2010.
- [3] A. Martin, M. Reza Emani, "An Architecture for Robotic Hardware-in-the-Loop Simulation" IEEE international conference on Mechatronics and Automation June 25 - 28, 2006, Luoyang, China.
- [4] J. Leitner, "Space Technology Transition Using Hardware in the Loop Simulation," in Proceedings of the 1996+ Aerospace Applications Conference, Vol. 2, February 1996, pp. 303-311.
- [5] L. Zboray, *Vybrané kapitoly z teórie riadenia*. Skriptá EF VŠT Košice, 1985
- [6] H. Hanselman, "Hardware-in-the-loop Simulation Testing and its Integration into a CACSD Toolset," IEEE International Symposium on Computer-Aided Control System Design, September 1996, pp. 15-18.
- [7] M. Linjama, T. Virvalo, J. Gustafsson, J. Lintula, V. Aaltonen, and M. Kivikoski, "Hardware-in-the-loop Environment for Servo System Controller Design, Tuning, and Testing," In: *Microprocessors and Microsystems*, Vol. 24, No. 1, 2000, pp. 13-21.
- [8] G. Stoeppler, T. Menzel, and S. Douglas, "Hardware-in-the-loop Simulation of Machine Tools and Manufacturing Systems," In: *Computing and Control Engineering Journal*, Vol. 16, No. 1, 2005, pp. 10-15.
- [9] B. L. Ballard, R. E. Elwell Jr., R. C. Gettier, F. P. Horan, A. F. Krummenoehl, and D. B. Schepleng, "Simulation Approaches for Supporting Tactical System Development," *John Hopkins APL Technical Digest* (Applied Physics Laboratory), Vol. 23, No. 2-3, 2002, pp. 311-324.
- [10] M. Bacic, "On hardware-in-the-loop simulation", In: *44th IEEE Conference on Decision and Control, and the European Control Conference 2005*, Seville, Spain, December 12-15, 2005.
- [11] Y. Liao, X. Shi, Ch. Fu, J. Meng, "Hardware In-the-Loop Simulation System Based on NI-PXI for Operation and Control of Microgrid", In: *Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, Nagasaki, Japan, pp. 1-6, Nov. 2014.
- [12] H. P. Halvorsen, „Hardware-in-the-Loop Simulation“, Telemark University College Department of Electrical Engineering, Information Technology and Cybernetics
- [13] D. Perduková, P. Fedor, "Vybrané univerzálne metódy riadenia nelineárnych mechatronických systémov" Technická Univerzita v Košiciach, 2011, ISBN 978-80-553-0649-0



# Určenie globálneho sentimentu populácie na základe sociálnej siete Facebook

<sup>1</sup> Marek MIHOK, <sup>2</sup> Ján GENČI

Katedra počítačov a informatiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup> marek.mihok@student.tuke.sk, <sup>2</sup> jan.genci@tuke.sk

**Abstrakt** — Článok sa zaoberá možnosťami získania dát zachytávajúcich sentiment populácie na základe sociálnej siete Facebook. Skúma spôsoby analýzy týchto dát a prekážky, ktorým táto analýza čelí. Na základe preskúmania možností získavania a analýzy dát vyberá konkrétny prístup - určovanie sentimentu na základe reakcií v sociálnej sieti Facebook. Naším cieľom je pokúsiť sa určiť mieru globálneho sentimentu na základe získaných dát. Tieto dáta podliehajú následnému spracovaniu v systéme R a programe MS Excel. Výsledkom je pomer počtu jednotlivých reakcií k celkovému počtu reakcií za daný časový interval. Následne určujeme mieru korelácie medzi vypočítanými pomermi a kozmickým počasím reprezentovaným tzv. DST indexom. Výsledky boli podrobené štatistickému overeniu a dospeli sme k záveru, že sa nám nepodarilo preukázať, že existuje korelácia medzi kozmickým počasím a globálnym sentimentom.

**Kľúčové slová** — Analýza sentimentu, sociálne siete, globálny sentiment, Facebook, reakcie, kozmické počasie, dst index

## I. ÚVOD

Získavanie informácií z internetu a ich využitie sa stáva neoddeliteľnou súčasťou marketingu a politických kampaní. Taktiež slúži na sledovanie vývoja spoločnosti, na základe čoho sa dajú predpovedať určité javy v spoločnosti. Veľmi dôležité sú aj subjektívne dojmy používateľov na internete. Na základe nich vieme identifikovať, o čo majú alebo nemajú ľudia záujem, vieme, aké sú aktuálne trendy a ako sa mení verejná mienka. Získaním subjektívnych postojov, dojmov a pocitov sa zaoberá analýza sentimentu (SA) [1][2]. SA spadá do oblasti spracovania prirodzeného jazyka (NLP, z anglického Natural Language Processing) [3]. SA využíva spracovanie prirodzeného jazyka na identifikovanie, extrahovanie a kvantifikovanie emočného stavu človeka a jeho subjektívnych postojov z textu alebo hovorenej reči.

Nárast počtu používateľov a aktívnejšie využívanie sociálnych sietí používateľmi z celého sveta nám poskytuje globálnu dátovú vzorku zachytávajúcu globálny sentiment. Poznať globálny sentiment by otvorilo nové horizonty v poznaní správania ľudstva ako celku, mohli by sme určiť jeho závislosť od rôznych udalostí vo svete.

Sociálne siete poskytujú široké spektrum informácií od používateľov z celého sveta. Tieto informácie sa dajú pomerne jednoducho získať, keďže sú verejne dostupné.

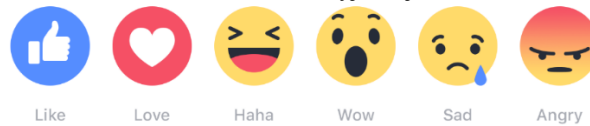
V našej práci sme analyzovali globálny sentiment pomocou reakcií používateľov sociálnej siete Facebook. Výsledkom tejto analýzy je kvantitatívne ohodnotenie jednotlivých reakcií v závislosti od času. Následne sme skúmali, či existuje závislosť globálneho sentimentu od indikátorov kozmického počasia.

Je všeobecne známe a vedecky dokázané, že počasie má výrazný vplyv na sentiment človeka [4], [5]. Naším cieľom je preskúmať závislosť ľudského sentimentu od kozmického počasia (solárne erupcie, magnetické búrky, zvýšenie a zníženie slnečnej aktivity a podobne). Chceme zistiť, aký bude mať dopad zmena intenzity slnečného vyžarovania na ľudskú náladu.

Konkrétne nás bude zaujímať tzv. Dst index („disturbance storm time“) [6], ktorý je kvantifikátorom kozmického počasia. Čím je nižší, tým väčšou intenzitou pôsobí slnko na našu Zem. Určíme mieru koreláciu medzi Dst indexom a nami získaným globálnym sentimentom. Výsledky na záver overíme pomocou štatistických metód.

## II. REAKCIE V SOCIÁLNEJ SIETI FACEBOOK

Okrem označenia „páči sa mi to“ (resp. „like“) slúžiaceho na vyjadrenie empatie alebo súhlasu s príspevkom na Facebooku, je možné od februára 2016 vyjadriť aj 5 typov emócií. Ich prehľad je znázornený na Obr. 1. Facebook si dal záležať na tom, aby boli univerzálne – to znamená, že v každej krajine majú rovnaký význam. Preto sa nemusíme zaoberať kultúrnou podmienenosťou používateľov, ktorí tieto reakcie vyjadrujú.



Obr. 1 Reakcie v sociálnej sieti Facebook [7]

## III. ZÍSKAVANIE A SPRACOVANIE REAKCIÍ V SOCIÁLNEJ SIETI FACEBOOK

V tejto časti opíšeme spôsob získavania a ukladania dát zo sociálnej siete a aké prostriedky a metódy na to využijeme. Rozoberieme, ako sme určili globálny sentiment a v závere tejto časti bude vysvetlené, ako sme získavali a spracovávali dáta pre vyhodnotenie korelácie medzi globálnym sentimentom a kozmickým počasím.

### Opis riešenia

Základom pre získavanie dát zo sociálnej siete Facebook je Java aplikácia *FB Reactions Downloader*, ktorú sme vytvorili pre naše účely. Vstupom do aplikácie je „id“ Facebook stránky a rozsah dátumov. Následne sa aplikácia pokúsi stiahnuť všetky príspevky z požadovanej stránky za zadaný časový interval spolu s dátumom a časom ich vytvorenia a počtom reakcií k nim. Aplikácia komunikuje so sociálnou sieťou pomocou REST webovej služby, ktorú Facebook nazýva *Graph API*. Sťahované dáta ukladáme priamo do databázy postavenej na riešení PostgreSQL.

So získaným dátovým súborom budeme následne pracovať v systémoch R a MS Excel, kde nad dátami vykonáme sériu úprav a dostaneme textový súbor, z ktorého nás budú zaujímať nasledujúce stĺpce:

- *day* (poradové číslo dňa v roku),
- *reactions* (celkový počet reakcií k príspevkom za príslušný deň),
- *likes, wow, sad, love, haha, angry* (počty jednotlivých reakcií k príspevkom za príslušný deň),
- *lire, wore, sare, lore, hare, anre* (pre jednoduchšiu manipuláciu s dátami sú týmito premennými pomenované pomery počtu jednotlivých reakcií k celkovému počtu reakcií, napr.  $anre = \frac{angry}{reactions}$ ,  $wore = \frac{wow}{reactions}$  atď.).

Na sťahovanie sme si vybrali stránku „9gag“ zo sociálnej siete Facebook s takmer 36 miliónmi odoberateľov z celého sveta. Príspevky sú pridávané približne každú hodinu, čiže vieme určiť aký sentiment ľudia vyjadrujú s takmer hodinovou presnosťou.

## IV. MIERA GLOBÁLNEHO SENTIMENTU

Nech  $h_j$  je suma celkového počtu reakcií konkrétneho typu za časový interval  $t$  a  $p$  je celkový počet reakcií za časový interval  $t$ . Potom miera globálneho sentimentu  $S_i$  za časový interval  $t$  pre danú reakciu je vyjadrená vzťahom:

$$S_i = \frac{h_j}{p}, \text{ kde } 0 \leq S_i \leq 1.$$

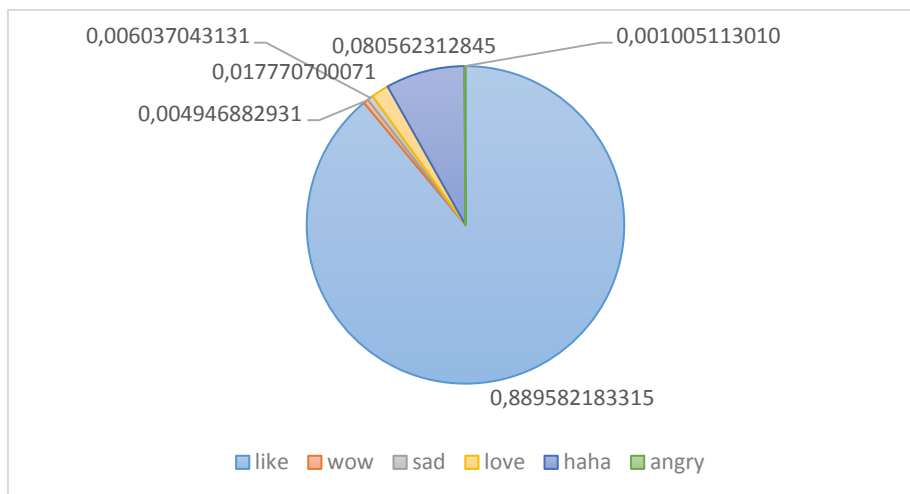
Mierou globálneho sentimentu budeme teda rozumieť pomery počtu jednotlivých reakcií k celkovému počtu reakcií za určitý časový interval.

## V. VYHODNOTENIE GLOBÁLNEHO SENTIMENTU

V tejto kapitole rozoberieme výsledky analýzy globálneho sentimentu. Graficky zobrazíme zastúpenie jednotlivých reakcií v pomere k ich celkovému počtu za rok 2016. Takisto ukážeme ako sa menila ich početnosť v čase.

### Miera globálneho sentiment za rok 2016

Pre každú z reakcií v sociálnej sieti Facebook sme vypočítali mieru globálneho sentimentu za rok 2016 na základe dát získaných zo stránky „9gag“. Vo výsledku, ktorý je uvedený na Obr. 2, je spracovaných 11 599 príspevkov. Na obrázku vidíme, aké mali zastúpenie jednotlivé reakcie.



Obr. 2 Pomer jednotlivých reakcií za rok 2016

Zistili sme, že až 89% všetkých reakcií za rok 2016 na stránke „9gag“ je „like“. Na druhom mieste sú reakcie „haha“ s 8%, na treťom „love“ s 1,7%, štvrtom „sad“ s 0,6%, piatom „wow“ s 0,4% a na poslednom mieste sa umiestnili reakcie „angry“ s 0,1%. To, že najväčšie zastúpenie majú reakcie „like“ nie je vôbec prekvapivé, pretože je to predvolená reakcia – to znamená, že ak chce používateľ vyjadriť inú reakciu, potrebuje dlhšie podržať kurzor nad tlačidlom „like“. Navyše ostatné reakcie boli predstavené až vo februári roku 2016 a používateľom trvá, kým si na to zvyknú. Stále majú tendenciu používať samotný „like“ bez vyjadrenia konkrétneho sentimentu.

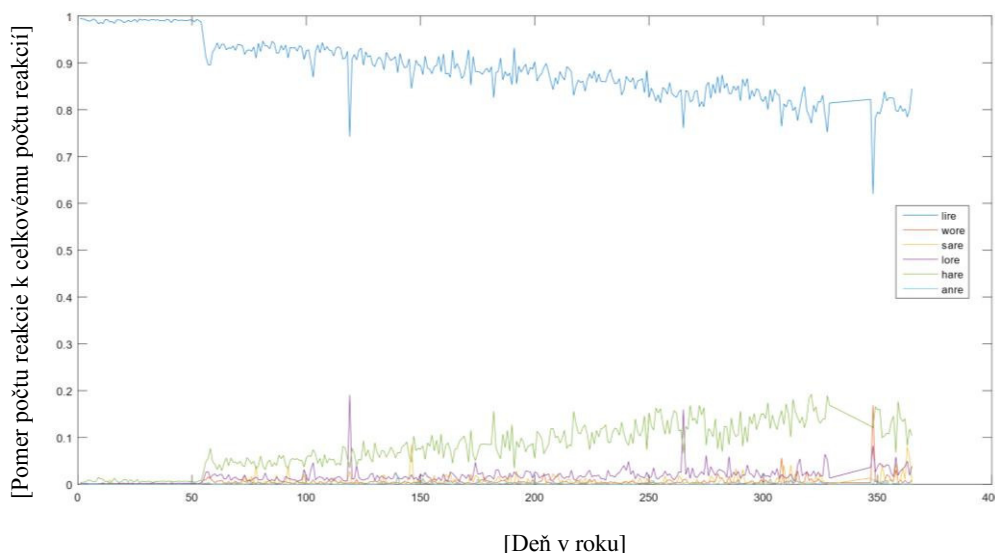
#### Priebeh počtu jednotlivých reakcií na sociálnej sieti Facebook v čase za rok 2016

Vyjadrenie sentimentu (prostredníctvom reakcií v sociálnej sieti Facebook) v závislosti od času (rok 2016) sme vyobrazili graficky (viď Obr. 3).

Do 24. februára 2016 bola reakcia „like“ jedinou globálne dostupnou reakciou. Ostatné boli istú dobu predtým v beta testovaní vo vybraných krajinách. Na Obr. 3 môžeme vidieť, že od tohto dátumu klesá počet reakcií „like“ a tým pádom stúpa počet ostatných reakcií. Z toho vyplýva, že vyjadrenie sentimentu nad príspevkami naberá na popularite. Užívateľia sociálnej siete si na neho zvykajú. Nemôžeme preto povedať, že ak napríklad vidíme rásť počet reakcií „haha“, tak ľudia sú šťastnejší.

Zaujímavé je aj zistenie, že používatelia majú najväčšiu tendenciu vyjadrovať reakcie „like“, „haha“, prípadne „love“ pričom ostatné sú používané zriedkavejšie. Takisto vidíme, že počet reakcií „sad“, „wow“ a „angry“ rastie veľmi pomalým tempom.

Z nameraných výsledkov vyplýva, že ľudia majú na sociálnych sieťach tendenciu vyjadrovať skôr pozitívne, než negatívne emócie. To však môže súvisieť aj s charakterom stránky, z ktorej sme získavali dáta. Jej zameraním je publikovať zábavné príspevky.



Obr. 3 Pomer počtu jednotlivých reakcií k celkovému počtu reakcií v závislosti od času zo stránky „9gag“ za rok 2016

## VI. ZÍSKAVANIE DÁT O KOZMICKOM POČASÍ

### *Dst index*

„Disturbance storm time“ alebo aj „Dst index“, je číselná hodnota resp. miera, ktorá v sebe nesie informáciu o kozmickom počasí – konkrétne silu tzv. „prstencového prúdu“ v okolí Zeme, ktorý je spôsobený solárnymi protónmi a elektrónmi. Tento prstencový prúd produkuje magnetické pole, ktoré je presne opačné ako magnetické pole Zeme, to znamená, že čím je rozdiel medzi solárnymi protónmi a elektrónmi väčší, tým slabšie je magnetické pole Zeme. Negatívna hodnota Dst znamená, že magnetické pole v okolí Zeme je oslabené – to sa deje najčastejšie počas solárnych búrok [8].

Dáta o kozmickom počasí sme získali z stránky OMNIWeb [9], ktorú prevádzkuje NASA. Na zmienenej stránke zaškrtneme políčko „Dst Index, nT“, nastavíme rozsah dátumov, pre ktoré ho chceme, označíme denný priemer, vyberieme možnosť exportovať ako súbor (file) a klikneme na „submit“. Stiahneme „ASCII data file“.

## VII. KORELÁCIA MEDZI GLOBÁLNYM SENTIMENTOM A KOZMICKÝM POČASÍM

Textový súbor s dátami rozšírime o stĺpec *dst*, v ktorom budú hodnoty *dst* indexu pre príslušný deň.

Na výpočet jednotlivých korelácií použijeme funkciu CORREL() v MS Excel, ktorú zavoláme nad príslušnými dvojicami stĺpcov (napr. *lire* a *dst*, *wore* a *dst* a pod.). Po výpočte sme dostali nasledovné výsledky:

Tab. 1 Korelácia medzi počtom reakcií zo stránky 9gag a *dst* indexom za rok 2016

Premenná	Koeficient korelácie
lire	-0,023371436
wore	0,042993914
sare	0,062842996
lore	0,062747966
hare	-0,014565088
anre	0,070121495

Ako môžete vidieť, jednotlivé korelácie ukazujú slabú, dokonca až takmer nulovú závislosť. To nemusí znamenať, že medzi kozmickým počasím a globálnym sentimentom závislosť neexistuje. Môže to byť zapríčinené nepresnosťou a nedostatočnou veľkosťou štatistickej vzorky, nekorektnými postupmi výpočtu a ďalšími faktormi.

## VIII. ŠTATISTICKÉ OVERENIE NAMERANÝCH VÝSLEDKOV

Majme dve hypotézy  $H_0$  a  $H_1$ . Hypotéza  $H_0$  hovorí, že medzi pomerom počtu reakcií v sociálnej sieti Facebook a *Dst* indexom neexistuje korelácia a hypotéza  $H_1$  hovorí, že medzi pomerom počtu reakcií v sociálnej sieti Facebook a *Dst* indexom existuje korelácia. Rozhodli sme sa overiť pravdivosť hypotézy  $H_0$ . Použili sme na to program Statistica 12. Vložili sme tam získané dáta, teda denné pomery počtov jednotlivých reakcií k celkovému počtu reakcií, počet zdieľaní a komentárov zo stránky 9gag a *Dst* index za rok 2016. Hladinu  $\alpha$  sme nastavili na 0,05. Ku každej z korelácií sme dostali aj hodnotu „P“, ktorá vyjadruje „riziko chyby“, ak by sme konštatovali platnosť hypotézy  $H_1$  aj keď by v skutočnosti platilo  $H_0$ .

Tab. 2 Korelácia medzi počtom reakcií, zdieľaní, komentárov zo stránky 9gag a *dst* indexom za rok 2016 a riziko chyby „P“

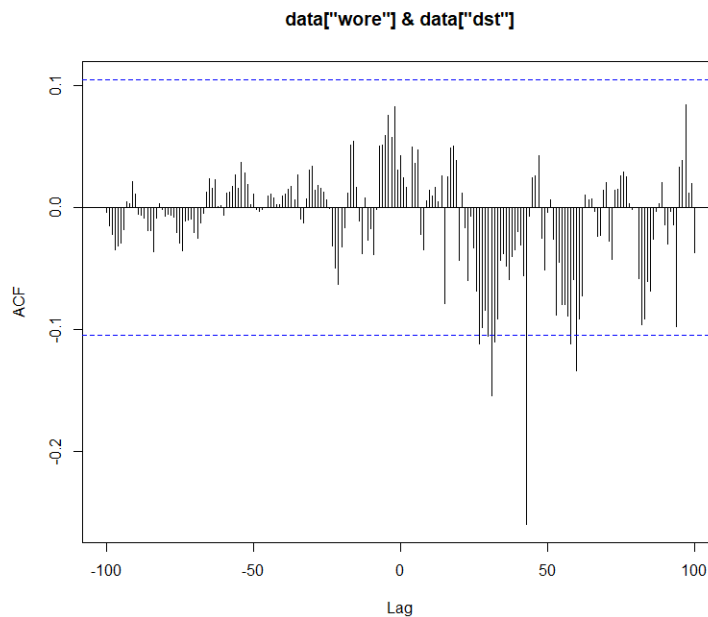
Premenná	Koeficient korelácie	P (riziko chyby)
lire	-0,023371436	0,663940
wore	0,042993914	0,423986
sare	0,062842996	0,242299
lore	0,062747966	0,243014
hare	-0,014565088	0,786587
anre	0,070121495	0,191893

Napríklad ak by sme tvrdili, že pomer počtu reakcií „angry“ k celkovému počtu reakcií súvisí s Dst indexom, mýlili by sme sa na 19,19%. To znamená, že ak by sme tvrdili, že to spolu súvisí, tak by sme mali pravdu na 80,81% (100% - 19,19%). Zvyčajne je však na dôveryhodný štatistický dôkaz potrebná 95%-tná pravdivosť tvrdenia. Preto môžeme prehlásiť, že sme nezamietli platnosť hypotézy  $H_0$  a tým pádom nedokázali platnosť  $H_1$ . Nezamietli sme možnosť, že neexistuje súvislosť medzi globálnym sentimentom a kozmickým počasím a tým pádom sme nepreukázali, že táto súvislosť existuje. Tento záver je platný, ak predpokladáme lineárnu závislosť. Tá sa počíta v prípade, ak dst index podlieha normálnemu rozdeleniu pravdepodobnosti. Toto rozdelenie sme overovali pomocou Shapiro-Wilkovho testu normality, kedy sme hypotézu  $H_0$  stanovili tak, že Dst pochádza z normálneho rozdelenia a hypotézu  $H_1$  tak, že Dst nepochádza z normálneho rozdelenia. Riziko chyby  $\alpha$  sme stanovili na hodnotu 5%. Hodnota P, ktorá predstavuje najväčšiu možnú hodnotu  $\alpha$ , pri ktorej môžeme ešte hypotézu zamietnuť, vyšla blízka nule. To je menej ako naša zvolená hodnota  $\alpha$  a preto tvrdenie  $H_0$ , ktoré hovorí o tom, že Dst pochádza z normálneho rozdelenia, zamietame. Tým pádom nemôžeme hovoriť o závislosti, ale iba o korelácii.

#### IX. VÝPOČET KRÍŽOVEJ KORELÁCIE MEDZI REAKCIAMI A DST INDEXOM

Doteraz sme merali koreláciu globálneho sentimentu a kozmického počasia za predpokladu, že by sa zmeny v sentimente objavili okamžite so zmenou kozmického počasia. Na to, aby sme zistili, pri akom časovom posune bude korelácia najväčšia, použijeme funkciu *ccf()* systému R, ktorá nám vypočíta krížovú koreláciu [10]. Výsledok spracovania vid' Obr. 4.

Najzaujímavejším výsledkom spomedzi všetkých reakcií je, že pri cca 40-dňovom posune nám vyšla medzi dst indexom a počtom reakcií „wow“ hodnota korelácie približne -0,25. Pri ostatných reakciách sa hodnota korelácie pohybovala na úrovni od -0,1 do 0,1 pri všetkých časových posunoch, čo indikuje veľmi slabú až žiadnu koreláciu.



Obr. 4 Funkcia CCF nad dst indexom a výskytom reakcií „wow“ v roku 2016

#### X. ZÁVER

Mieru globálneho sentimentu sme vyjadrili pomerom počtu jednotlivých reakcií k celkovému počtu reakcií za určitý časový interval. Dospeli sme k záveru, že až 89% všetkých reakcií za rok 2016 na stránke „9gag“ tvorí „like“. Na druhom mieste sú reakcie „haha“ s 8%, na treťom „love“ s 1,7%, štvrtom „sad“ s 0,6%, piatom „wow“ s 0,4% a na poslednom mieste sa umiestnili reakcie „angry“ s podielom 0,1%.

Namerané dáta sme graficky vyobrazili aj v závislosti od času, kde sa ukázalo, že ľudia majú sklon vyjadrovať reakcie „like“, „love“ a „haha“ nabité pozitívnym alebo neutrálnym sentimentom. Naopak, reakcie „sad“, „wow“ a „angry“ nie sú medzi užívateľmi až také obľúbené.

Aby naša analýza sentimentu mala význam, bolo vhodné ju s niečím porovnať. Preto sme sa pokúsili určiť koreláciu medzi výskytom jednotlivých reakcií a kozmickým počasím, ktoré je vyjadrené číselnou hodnotou - Dst indexom – ktorého hodnoty sme získali z OMNIWeb prevádzkovaného organizáciou NASA a vložili ich do tabuľky v MS Excel. K denným prímerom týchto hodnôt sme priradili denné pomery počtu jednotlivých reakcií v sociálnej

sieti Facebook zo stránky „9gag“. Vypočítali sme hodnoty korelácií s Dst indexom pre každý typ reakcií. Tie nám vyšli blízke nule, teda zdá sa, že tu korelácia neexistuje.

Na prvý pohľad by sme tak mohli povedať, že na základe určenia globálneho sentimentu pomocou reakcií v sociálnej sieti Facebook neexistuje závislosť medzi týmto sentimentom a kozmickým počasím. Rozhodli sme sa to štatisticky overiť. Postavili sme proti sebe dve hypotézy -  $H_0$ , ktorá hovorí, že medzi pomerom počtu reakcií v sociálnej sieti Facebook a dst indexom neexistuje korelácia a hypotézu  $H_1$ , ktorá hovorí, že medzi pomerom počtu reakcií v sociálnej sieti Facebook a dst indexom existuje korelácia. Overili sme pravdivosť hypotézy  $H_0$ . Z výsledkov štatistického overenia sme prehlásili, že sme nezamietli platnosť hypotézy  $H_0$  a tým pádom nedokázali platnosť  $H_1$ . Nezamietli sme možnosť, že neexistuje súvislosť medzi globálnym sentimentom a kozmickým počasím a tým pádom sme nepreukázali, že táto súvislosť existuje.

Globálny sentiment nemusí byť ovplyvnený okamžite po zmene Dst indexu, ale môže istú dobu trvať, kým sa zmena prejaví. Preto sme sa pomocou krížovej korelácie pokúsili zistiť pri akom posune nameraných dát existuje najvyššia korelácia. Pri porovnaní reakcií „wow“ a dst indexu nám pri 40-dňovom posune vyšla korelácia cca -0,25. Porovnaním ostatných reakcií sme nedospeli k žiadnemu výraznému výsledku - všetky hodnoty korelácií sa pohybovali od hodnoty -0,1 až po 0,1, čo indikuje veľmi slabú až žiadnu koreláciu.

Výsledkom je, že sa nepodarilo dokázať, že by kozmické počasie malo vplyv na globálny sentiment určený na základe reakcií v sociálnej sieti Facebook. Existujú však ďalšie postupy, ktorými by sme mohli výpočty zlepšiť – napríklad zobrať do úvahy jednotlivé krajiny a ich lokálne počasie alebo bolo by taktiež zaujímavé do výpočtov zahrnúť aj reakcie na komentáre k príspevkom, ktoré boli predstavené a uvedené na používanie 5. mája 2017.

Za ďalší prínosom považujeme funkčný program na sťahovanie dát z Facebooku. Na ich základe potom vieme vypočítať pomery počtu jednotlivých reakcií v sociálnej sieti Facebook, ktoré nám udávajú mieru globálneho sentimentu vo forme početnosti jednotlivých typov reakcií nesúcich pozitívny, neutrálny alebo negatívny sentiment.

Určenie globálneho sentimentu na základe dát zo sociálnej siete Facebook je stále otvorenou problematikou. Okrem určovania sentimentu pomocou reakcií je možné využiť napríklad rôzne formy sémantickej analýzy príspevkov a komentárov, analýzy emotikonov, nálepiek, zdieľaných obrázkov, piesní a článkov, či analýzy vzájomnej interakcie používateľov.

Sociálna sieť Facebook zachytáva dostatočnú zbierku dát na to, aby sme mohli určiť sentiment ľudstva a jeho závislosť od rôznych udalostí na svete. Potom by sme mohli napríklad predpovedať nechcené javy v spoločnosti a do istej miery predísť tým nežiadúcim. Už len samotná spokojnosť ľudstva ako celku je výborným ukazovateľom smerovania spoločnosti a preto má význam venovať sa tejto problematike aj naďalej.

## REFERENCIE

- [1] Liu, B. "Sentiment analysis and opinion mining." Synthesis lectures on human language technologies 5.1 (2012): 1-167.
- [2] Pang, B., and Lillian Lee. "Opinion mining and sentiment analysis." Foundations and Trends® in Information Retrieval 2.1-2 (2008): 1-135.
- [3] Kumar, Ela. Natural language processing. IK International Pvt Ltd, 2011.
- [4] BERNSTEIN, M.: 6 Scientific Ways Weather Affects Your Mood, So You Can Adapt Your Mind And Body Through The Changing Seasons. bustle, 2015, [ cit. 2.11.2016 ]. Dostupné na webovej stránke (world wide web): <https://www.bustle.com/articles/113278-6-scientific-ways-weather-affects-your-mood-so-you-can-adapt-your-mind-and-body-through>
- [5] Sérotonin. wikipedia, 2015, [ cit. 2.11.2016 ]. Dostupné na webovskej stránke (world wide web): <https://sk.wikipedia.org/wiki/S%C3%A9roton%C3%ADn>
- [6] Kyoto University, World Data Center for Geomagnetism, Dostupné na webovej stránke (world wide web): <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstae/index.html>
- [7] KRUG, S.: Reactions Now Available Globally. Newsroom, 2016, [ cit. 27.10.2016 ]. Dostupné na webovej stránke (world wide web): <https://newsroom.fb.com/news/2016/02/reactions-now-available-globally/>
- [8] Disturbance storm time index. Wikipedia, [ cit. 16.2.2017 ]. Dostupné na webovskej stránke (world wide web): [https://en.wikipedia.org/wiki/Disturbance\\_storm\\_time\\_index](https://en.wikipedia.org/wiki/Disturbance_storm_time_index)
- [9] NASA: Interface to produce plots, listings or output files from OMNI 2. OMNIWeb, 2008, [ cit. 11.1.2017 ]. Dostupné na webovej stránke (world wide web): <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>
- [10]. WEISSTEIN, E.: Correlation Coefficient. MathWorld, [ cit. 14.1.2017 ]. Dostupné na webovej stránke (world wide web): <http://mathworld.wolfram.com/CorrelationCoefficient.html>

# Level Set metóda segmentácie obrazov

Iveta GLADIŠOVÁ, Ján MIHALÍK

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

iveta.gladisova@tuke.sk, jan.mihalik@tuke.sk

**Abstrakt** — Vyčlenenie charakteristických oblastí obrazu s určitou homogenitou vzhľadom k danej vlastnosti predstavuje proces segmentácie obrazu, ktorý je dôležitou časťou spracovania obrazovej informácie. Článok je venovaný problematike segmentácie obrazových dát pomocou Level Set algoritmu. Metóda Level Set sa radí k najpokročilejším metódam segmentácie obrazu. Obrazové dáta tvorili šedotónové statické obrazy. Článok opisuje teoretický rozbor Level Set metódy so zameraním sa na zadefinovanie Level Set funkcie, ako aj popis rýchlostnej rukcie. Simulačná časť je venovaná segmentácii obrazov použitím uvedenej metódy, zhodnoteniu a zovšeobecneniu dosiahnutých simulačných výsledkov. Level Set metóda dokázala oproti iným jednoduchším metódam aktívnych obrazov zachytiť a oddeliť rôzne nehomogénne ovlasti v objektoch obrazu.

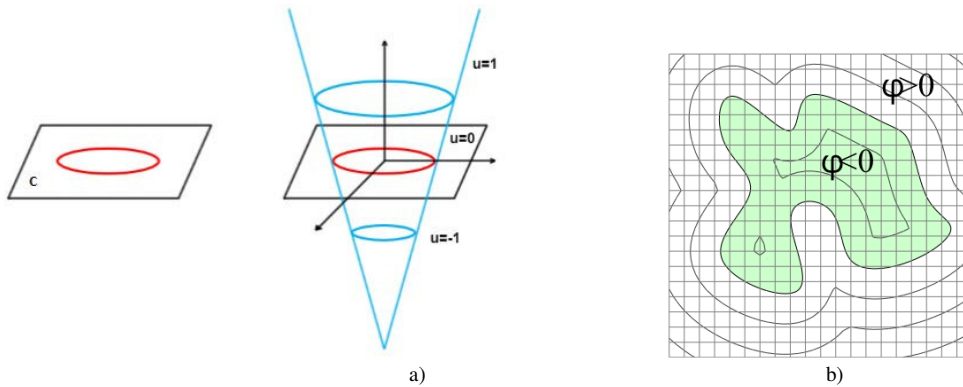
**Kľúčová slová** — aktívne obrysové modely, Level Set funkcia, rýchlostná funkcia, uzavretá obrysová krivka

## I. ÚVOD

Pri segmentácii obrazových dát často využíva prístup označovaný ako aktívne obrysové modely, ktoré sú založené na deformácii počiatočného geometrického modelu reprezentovaného uzavretou krivkou (obrysom) [1] - [3]. Táto krivka je riadená nútiacimi vonkajšími a vnútornými silami, ktoré spolu ťahajú aktívny obrysový model smerom ku skúmaným objektom v obraze [4] - [6]. Jedná sa teda o spôsob prispôsobovania deformovateľného modelu k objektom v obraze pomocou minimalizácie energie. Energetický funkcionál krivky opisujúcej objekt obsahuje jednak energiu vnútorných síl, ktoré sú závislé iba na aktuálnom stave modelu a držia ho pohromade a tiež energiu vonkajších síl, ktoré sú závislé na čase a pozícii modelu. Metóda Level Set patrí k aktívnym obrysovým modelom, ktoré sledujú blízke hrany objektu v obraze a presne ich lokalizujú. Level Set metóda predstavuje robustný prístup založený na parciálnych diferenciálnych rovniciach [7], [8], [12]. Jej negatívnou vlastnosťou je výpočtová zložitosť, a tým často aj náročnosť jej použiteľnosti pri segmentácii obrazov v reálnom čase.

## II. LEVEL SET METÓDA

Metóda Level Set predstavuje výpočtovú realizáciu implicitných aktívnych modelov. Hlavným charakteristickým rysom tejto metódy je, že táto metóda dokáže segmentovať objekty s rôznym tvarom a umiestnením v obraze. Princíp metódy je z časti podobný iným metódam aktívnych obrysových modelov, pričom základný rozdiel je v tom, že tvar krivky sa v metóde Level Set nemení priamo, ale prostredníctvom tzv. Level Set funkcie. Krivka  $C$  je v tejto metóde reprezentovaná nulovou hladinou rezu roviny, nazývanej Zero Level Set. Level Set funkcia priradzuje každému bodu roviny jeho výšku  $u$  nad/pod nulovou hladinou, ako to vidno na obr. 1. Povrch funkcie sa postupne adaptuje/deformuje vzhľadom k zadaným metrikám krivosti a obrazovým gradientom. Výhodou Level Set metódy je, že reprezentovanú krivku je možné topologicky meniť zlúčením alebo delením, a to jednoduchým a efektívnym spôsobom. Ďalšou žiaducou vlastnosťou je, že numerické výpočty je možné vykonávať na pevnej karteziánskej mriežke bez nutnosti nastavovania parametrov bodov v parametrických aktívnych modeloch vrstevníc. V porovnaní s inými aktívnymi obrysami dosahuje Level Set metóda lepšie výsledky najmä pri výskyte zložitejších tvaroch objektov a pri nehomogénnych objektoch v obraze.



Obr.1 a) Nulová hladina rezu roviny pri Level metóde, b) Level Set funkcia [9].

Nech  $C(0)$  je počiatkový stav obrusu, ktorý je zároveň nulovou vrstevnicou nejakej implicitne zadanej funkcie  $\phi$ , pričom takýchto funkcií  $\phi$  je obecně nekonečne mnoho. Nech funkcia  $\phi(\mathbf{b}, t = 0)$ ,  $\mathbf{b} \in R^n$ ,  $n = 2$  alebo  $3$  je definovaná vzťahom [10]

$$\phi(\mathbf{b}, 0) = \pm d, \quad (1)$$

kde  $d$  je euklidovská vzdialenosť bodu  $\mathbf{b}$  od  $C(0)$ . Záporné znamienko je použité pre body vo vnútri, zatiaľ čo kladné znamienko pre body mimo inializačného rozhrania. Potrebne je zdôrazniť, že na začiatku máme funkciu, pre ktorú platí

$$C(0) = \{\mathbf{b} | \phi(\mathbf{b}, 0) = 0\}. \quad (2)$$

Vývoj rozhrania môžeme nepriamo sledovať behom numerického riešenia vhodne definovanej parciálnej diferenciálnej rovnice s počiatkovou podmienkou (1). Riešením úlohy v čase  $t$  bude funkcia  $\phi(\mathbf{b}, t)$  s vlastnosťou

$$C(t) = \{\mathbf{b} | \phi(\mathbf{b}, t) = 0\}, \quad (3)$$

tj. obrus je daný ako nulová vrstevnica implicitnej funkcie  $\phi(\mathbf{b}, t)$ , nazývanej Level Set funkcia (viď. obr. 1b).

Nech  $x(t)$  udáva dráhu jedného bodu na pohybujúcom sa rozhraní v čase, tj.  $x(0)$  je bod na  $C(0)$ . Potom z rov. (3) vyplýva

$$\phi(x(t), t) = 0. \quad (4)$$

Aplikáciou pravidla pre deriváciu zloženej funkcie dostaneme [9]

$$\phi_t(x(t), t) + \nabla\phi(x(t), t) \cdot x_t(t) = 0, \quad (5)$$

kde  $\nabla$  predstavuje gradientný operátor. Keďže rýchlosť  $F$  pôsobí v smere normálového vektora, platí  $F = x_t(t) \cdot \vec{N}$ , pričom  $\vec{N} = \frac{\nabla\phi}{|\nabla\phi|}$ . S využitím tohto poznatku môžeme rov. (5) prepísať do tvaru

$$\phi_t + F|\nabla\phi| = 0. \quad (6)$$

Túto rovnicu s počiatkovou podmienkou (1) pomenovali S. Osher a J. A. Sethian v práci [10] Level Set metódou.

Pre riešenie problému segmentácie rýchlostná funkcia  $F$  v rov. (6) môže byť vyjadrená pomocou troch zložiek pohybu obrusu vzťahom [11]

$$F = F_0 + F_{kr} + F_{ext}, \quad (7)$$

kde  $F_0$  udáva konštantnú rýchlosť rozhrania v smere normály,  $F_{kr}$  je rýchlosť závislá na lokálnej krivosti rozhrania a  $F_{ext}$  rýchlosť vo vonkajšom vektorovom poli. Zložky  $F_0$  a  $F_{ext}$  predstavujú pôsobenie vonkajších síl, pričom  $F_0$  je rýchlosť nafukovacej sily a  $F_{ext}$  udáva rýchlosť obrazovej sily. Naopak, zložka  $F_{kr}$  predstavuje pôsobenie vnútorných síl na pohyb rozhrania. Dosadením vzťahu (7) do rov. (6) sa získa rozšírená rovnica Level Set metódy.

Hlavná nevýhoda Level Set metódy spočíva v jej vysokej výpočtovej náročnosti. Podľa numerického schématu sa musia v jednej iterácii pre všetky body obrazu spočítať nové hodnoty funkcie  $\phi$ , pričom samotné riešenie rovnice trvá nezanedbateľnú dobu. S rastúcou veľkosťou obrazových dát je potreba prevádzať stále viac iterácií, aby sa dospelo k riešeniu. Medzi ďalšie nevýhody patrí reinitializácia funkcie  $\phi$  a rozšírenie rýchlostnej funkcie  $F$ .

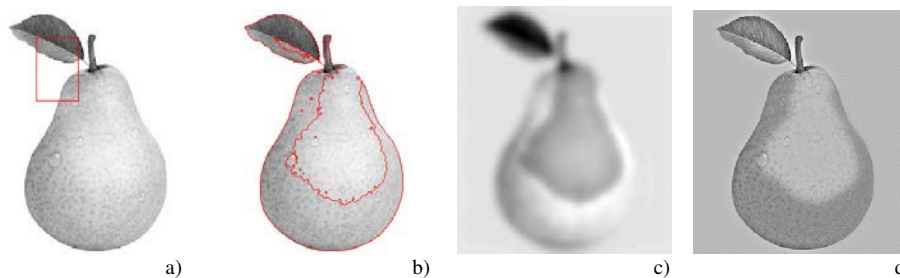


### III. IMPLEMETÁCIA A ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV

Metóda Level Set patrí k najpokročilejším metódam segmentácie obrazu a vyžaduje ešte viac znalostí, ako tu boli opísané. K použitiu evolúcie, ktorá je potrebná pre správny vývoj Level Set funkcie a bez ktorej by sa metóda neobišla, sa ponúkali skripty rôznych autorov. Kvôli ľahšej aplikácii a lepšej ovládateľnosti Level Set funkcie sme zvolili evolúciu od autora Chunning Li [13], ktorý vytvoril novú variančnú formuláciu geometrických aktívnych obrysov, medzi ktoré sa radí Level Set funkcia. Táto formulácia spočíva v tom, že nie je potrebná reinitializácia Level Set funkcie, ktorá udržiavala tradičnú Level Set funkciu v blízkosti vzdialenostnej funkcie a bez ktorej by metóda prestala fungovať. Najprv bol vytvorený obraz gradientu a potom bola inicializovaná Level Set funkcia (tvar uzavrenej krivky), ktorá sa ďalej vyvíjala podľa tvaru objektu v obraze. Po určitom počte iterácií, ktorých počet je stanovený užívateľom, dochádza k ukončeniu metódy. Zamerali sme sa teda na aplikovanie navrhutej metódy segmentácie obrazu spolu s korekciou skreslenej oblasti (*Bias Field*). Vybraté boli šedotónové digitálne reálne statické obrázky typu jpeg a png s malou veľkosťou, z dôvodu rýchlejšieho spracovania. Simulácie boli uskutočnené v programe Matlab R2014A na notebooku TOSHIBA, Intel(R) CPU B940 @ 2.00GHz s RAM 4,00 GB.

#### **Dvojfázová reprezentácia segmentácie metódou Level Set**

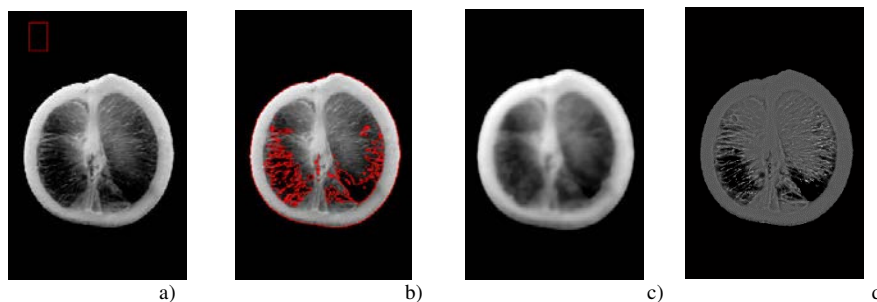
Pri ukážke simulácie dvojfázovej segmentácie bol použitý obraz hruska.jpg veľkosti 211x293 obrazových prvkov, s bitovou hĺbkou 24, s bielym pozadím, ktorý je na obr.2a spolu s počítačným obrysom v obraze (červený obdĺžnik). Na obr.2b) je výsledok nájdených obrysov po 50 iteráciách. Je vidieť, že metóda si poradila aj s nehomogenitou objektu – hrušky, kedy došlo k obrysu jej svetlejšej časti na povrchu. Na obr.2c) je možné vidieť použitú masku v obraze a na obr.2d) je výsledný segmentovaný obraz.



Obr. 2 a) Originálny obraz hrušky a počítačový obrys, b) obraz hrušky po 50tich iteráciách, c) maska obrazu hrušky, d) výsledný segmentovaný obraz.

V programe sa využili prístupy *Estimated Bias Field*, ktorý predstavuje použitie masky v obraze a *Bias Corrected Image*, čiže segmentovaný obraz po použití masky.

Ďalšou ukážkou bol obraz s objektom prierezu citóna na čiernom pozadí. Veľkosť obrazu typu jpg bola 399 x 600 obrazových prvkov, rovnaká bitová hĺbka rovná 24. Výsledky sú na obr.3.

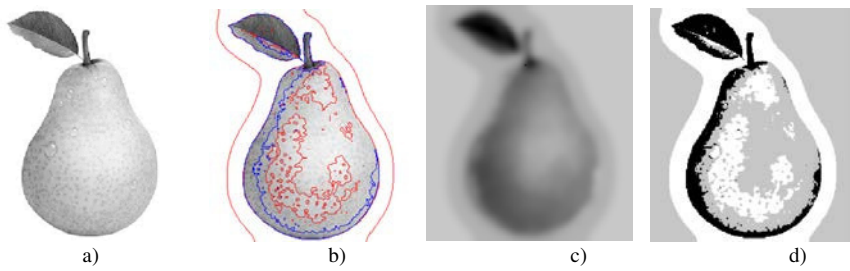


Obr.3 a) Originálny obraz citróna a počítačový obrys, b) obraz citrón po 50tich iteráciách, c) maska obrazu citrón, d) výsledný segmentovaný obraz.

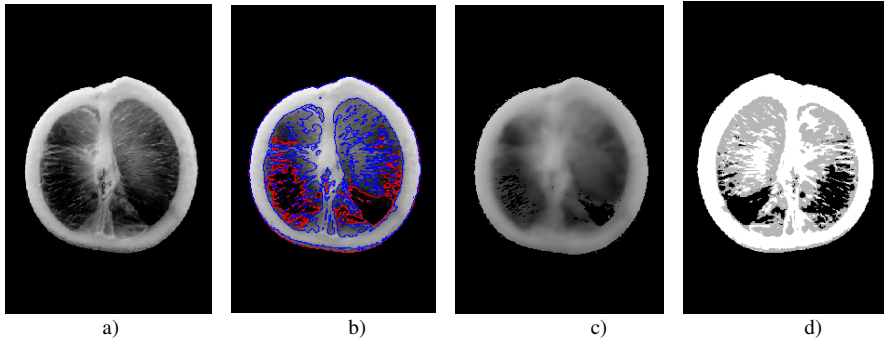
Z obr.2 a obr.3 sme mohli vidieť správnosť fungovania dvojfázovej Level Set metódy. Farba pozadia neovplyvňovala správnosť jej výsledku. V rámci subjektívneho zhodnotenia bol pri simuláciách rozdiel medzi výslednými červenými obrysami pri 50tich a 100 iteráciách takmer zanedbateľný. Časový interval segmentácie bol pri každom obrázku individuálny. Rýchlosť vyhodnotenia segmentácie vyplývala hlavne z veľkosti obrázka a takisto z parametrov samotného použitého počítača.

#### **Trojfázová reprezentácia segmentácie metódou Level Set**

V rámci trojfázovej (radí sa medzi multifázové) reprezentácie boli použité tie isté obrázky ako v prípade dvojfázovej reprezentácie, pričom trojfázová segmentácia využívala 2 Level Set funkcie:  $\Phi_1$  pre červený obrys a  $\Phi_2$  pre modrý obrys (obr.4 a obr.5).



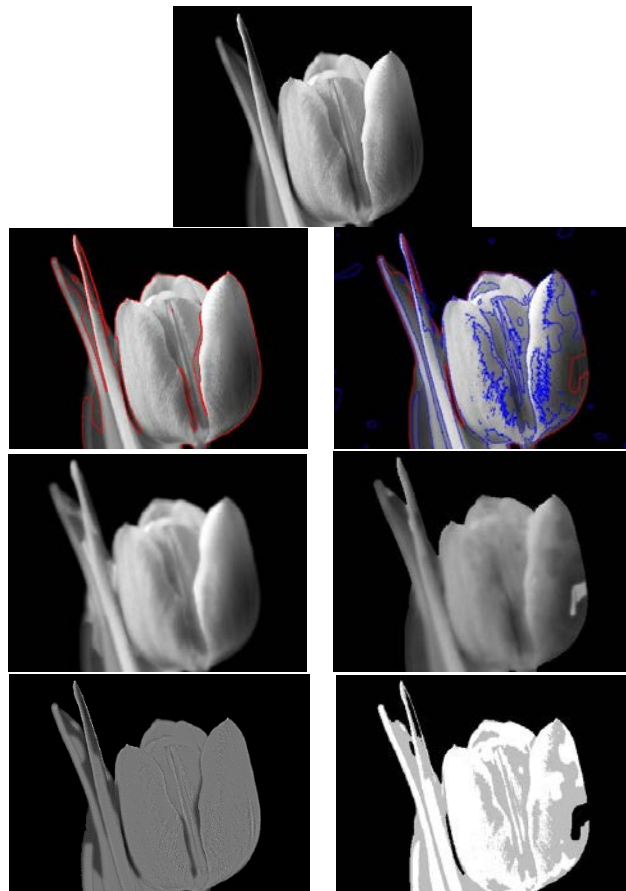
Obr.4 a) Originálny obraz hrušky, b) obraz hrušky po 100 iteráciách s obrysom  $\Phi_1$ - červená a  $\Phi_2$  – modrá, c) Estimated Bias Field (maska), d) Bias Corrected Image (výsledný segmentovaný obraz).



Obr.5 a) Originálny obraz citrón, b) obraz citrón po 100 iteráciách s obrysom  $\Phi_1$ - červená a  $\Phi_2$  – modrá, c) Estimated Bias Field (maska), d) Bias Corrected Image (výsledný segmentovaný obraz).

Z obr. 4 a obr.5 vyplýva, že použitie dvoch obrysov zachytáva jemnejšie odtiene segmentovaných oblastí (každá nehomogenita môže byť dôležitá, napríklad pri medicínskych obrazoch), a preto má aj výsledný segmentovaný obraz pri tejto metóde viac farieb na rozlíšenie jednotlivých segmentov.

Na obr.6 je vidieť výsledné porovnanie dvojfázovej a trojfázovej segmentácie obrazu za pomoci Level Set funkcie pričom obrázok hore reprezentuje originálny obraz a následne je v ľavom stĺpci zobrazený: obraz po 100 iteráciách, maska obrazu a výsledný segmentovaný obraz. V pravom stĺpci je využitá trojfázová segmentácia obrazu, pod ňou sa nachádza maska použitá v trojfázovej segmentácii a výsledný segmentovaný obraz.



Obr.6 Porovnanie dvojfázovej a trojfázovej reprezentácie segmentácie metódou Level Set.

#### IV. ZÁVER

Článok sa zaoberal segmentáciou šedotónových digitálnych statických použitím metódy Level Set. Táto metóda bola výhodná z dôvodu, že sa zameriava na obrazy s nehomogennými intenzitami, ktoré sa vyskytujú často v reálnych obrazoch, pričom na ne vplyvajú rôzne faktory, ako sú nedokonalosti zobrazovacích zariadení, priestorové zmeny v osvetlení, či komplikácie v obrazových procesoch a počítačovom videní. Princíp metódy je z časti podobný metóde aktívnych obrysových modelov s tým rozdielom, že tvar krivky obrysu sa v Level Set metóde nemení priamo, ale prostredníctvom Level Set funkcie.

Na základe získaných teoretických poznatkov boli urobené experimentálne simulácie segmentácie šedotónových statických digitálnych obrazov prostredníctvom Level Set metódy v programovom prostredí Matlab. Vykonalí sme porovnanie samotnej metódy Level Set v dvojfázovej a trojfázovej formulácii. Táto formulácia predstavuje rozdelenie oblastí do dvoch respektíve viac skúmaných oblastí. Na porovnanie boli v oboch prípadoch použité tie isté obrazy. Obrazy sme vybrali s tmavým a svetlým pozadím, aby sme otestovali aj vplyv pozadia na správanie sa Level Set funkcie. Ako sme mohli vidieť z výsledkov testovaných obrazov, metódou Level Set sa dosiahli dobré výsledky segmentácie obrazov. Pri niektorých obrazoch so skreslenými oblasťami nedokážu iné metódy, jednoduchšie ako Level Set, správne oddeliť objekt od pozadia, a to hlavne v dôsledku intenzity nehomogenít. To je hlavným problémom jednoduchších segmentačných metód hľadajúcich konkrétne objekty v obraze. Segmentácia obrazov pomocou Level Set metódy dokázala aspoň sčasti správne upraviť a segmentovať tieto nehomogenity v objektoch.

PodĎakovanie patrí Ing. Veronike Niskej, ktorá sa podieľala na riešení tejto problematiky.

#### LITERATÚRA

- [1] Cohen, L.D.: Note on Active Contour Models and Balloons. Computer Vision, Graphics and Image Processing: Image Understanding, 53(2), pp. 211-218, March 1991. Online dostupné na internete: <<https://www.ceremade.dauphine.fr/~cohen/mypapers/cohencvqip91.pdf>>.
- [2] Cohen, L.D., Cohen, I.: Finite-Element Methods for Active Contour Models and Balloons for 2-D and 3-D Images. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 15 (11), pp. 1131-1147, Nov.1993.
- [3] Chopra A., Dandu, B. R.: Image Segmentation Using Active Contour Model. Online dostupné na internete: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.412.4865&rep=rep1&type=pdf>>.
- [4] Wang, J., Chan, K.L.: Active Contour with a Tangential Component. Journal of Mathematical Imaging and Vision. 51 (2), pp.229-247, 2014.
- [5] Gladišová, I., Mihalík, J.: Aktívne obrysové modely. In: Proc. Of Electrical Engineering and Informatics 7, Proceedings of FEI, Technical University of Košice, s. 31-36, 2016.
- [6] Lankton, S., Tannenbaum, A.: Localizing Region-Based Active Contours. IEEE Transactions on Image Processing, 17(11), pp.2029-2039, Nov. 2008.
- [7] Chunming L., Chenyang X., Changfeng G., Fox, M .D.: Distance Regularized Level Set Evolution and Its Application to Image Segmentation. IEEE Trans. on Image Processing, vol.19, no.12, pp. 3243-3254, Dec.2010,
- [8] Sethian J. A.: Level Set and Fast Marching Methods. Cambridge University Press, 1999.
- [9] Persson, P.O.: The Level Set Method. Numerical Methods for Partial Differential Equations. Online dostupné na internete: <<http://persson.berkeley.edu/pub/persson05levelset.pdf>>.
- [10] Osher S., Sethian J. A.: Front Propagating with Curvature Dependend Speed. Journal of Computational Physics, 79, pp. 12 – 49, 1988.
- [11] Osher S., Fedkiw R.: Level Set Methods and Dynamic Implicit Surfaces. Springer, 2003.
- [12] Nilsson B., Heyden A.: A fast algorithm for level set-like active contours. Pattern Recognition Letters, 24, pp. 1331 – 1337, 2003.
- [13] Chunming L., Rui H., Zhaohua D., Gatenby Ch. J., Metaxas D. N.: A Level Set Method for Image Segmentation in the Presence of Intensity Inhomogeneities With Application to MRI. Online dostupné na internete: <[http://www.imagecomputing.org/~cmli/paper/levelset\\_segmentation\\_biasCorrection.pdf](http://www.imagecomputing.org/~cmli/paper/levelset_segmentation_biasCorrection.pdf)>.

# Návrh automatického inventarizačného systému dopravných značiek s využitím optického korelátora

<sup>1</sup>František RAKOCI, <sup>2</sup>Luboš OVSENÍK, <sup>3</sup>Ján TURÁN

<sup>1,2,3</sup>Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>ferorak@gmail.com, <sup>2</sup>lubos.ovsenik@tuke.sk, <sup>3</sup>jan.turan@tuke.sk

**Abstrakt**— Tento článok opisuje návrh automatického inventarizačného systému dopravných značiek s využitím optického korelátora. Najkritickejším krokom automatickej inventarizácie je rozpoznávanie dopravných značiek v obraze zaznamenanom videokamerou. Miera podobnosti dvoch obrazov počas rozpoznávania je určená ich vzájomnou koreláciou. Optický korelátor je zariadenie, ktoré realizuje koreláciu optickou cestou. Výhodou jeho využitia je vysoká rýchlosť spracovania obrazu. Sústava difrakčných šošoviek dokáže poskytnúť obraz Fourierovej transformácie v jednom kroku, bez ohľadu na rozlíšenie vstupného obrazu. Výsledkom procesu optickej korelácie je obraz s korelačnými špičkami, ktoré určujú mieru podobnosti porovnávaných obrazov a ich vzájomnú polohu vo vstupnom obraze. Hlavnou úlohou inventarizačného systému je vyhľadávanie dopravných značiek v zaznamenatej videosekvencii. Vyhodnotením proporcií a farebnej homogenity zaznamenatej vzorky je stanovený aktuálny stav, resp. miera poškodenia dopravnej značky. Každý zaznamenatej značke je následne priradená informácia o jej globálnej pozícii pomocou súradníc získaných z GPS prijímača.

**Kľúčové slová**— Automatická inventarizácia, dopravná značka, Fourierová transformácia, GPS súradnice, optický korelátor

## I. ÚVOD

Súčasný rozvoj dopravnej infraštruktúry prináša so sebou potrebu efektívnej kontroly a údržby používaných zariadení. Automatická inventarizácia dopravných značiek umožňuje výrazne zefektívniť získavanie informácií o aktuálnom stave. Na základe zozbieraných údajov je možné vyhodnotiť potrebu údržby, resp. na základe štatistickej analýzy minimalizovať poruchovosť v kritických oblastiach. V tomto článku je predstavený návrh inventarizačného systému, ktorý ako jadro pre detekciu a klasifikáciu jednotlivých dopravných značiek využíva optický korelátor. Prvá časť článku sa zaoberá optickým spracovaním. V jadre je predstavený koncept automatického inventarizačného systému s vysvetlením celkovej funkcie a princípu spracovania údajov získavaných z jednotlivých periférií. V závere sú zhodnotené spomínané metódy spracovania informácií. Spomenuté sú taktiež možnosti pre zlepšenie systému v budúcnosti a plány pre vývoj ďalšej verzie automatického inventarizačného systému.

## II. OPTICKÉ SPRACOVANIE OBRAZU

Výhodou spracovania obrazu optickou cestou je vysoká rýchlosť spracovania. Pri optickom spracovaní sa nemusí porovnávať každý obrazový prvok zvlášť, ako je to pri konvenčnom elektronickom spracovaní.

Korelácia je definovaná ako Fourierova transformácia súčinu Fourierových obrazov vstupného a referenčného signálu  $s$  a  $r$  podľa vzťahu:

$$r * s = FT[R \times S] \quad (1)$$

kde  $R$  a  $S$  sú Fourierove obrazy príslušných signálov  $r$  a  $s$ . Optická korelácia v  $1/f$  JTC systéme je realizovaná v dvoch krokoch základnej optickej Fourierovej transformácie.

V prvom kroku sú funkcie  $r$  a  $s$  umiestnené a priestorovo oddelené vo vzdialenostiach

$$(x_0, y_0) \text{ a } (-x_1, -y_1) \quad (2)$$

od stredu roviny, čím vznikne vstupná rovina optického korelátora:

$$s(x - x_0, y - y_0) + r(x + x_1, y + y_1). \quad (3)$$

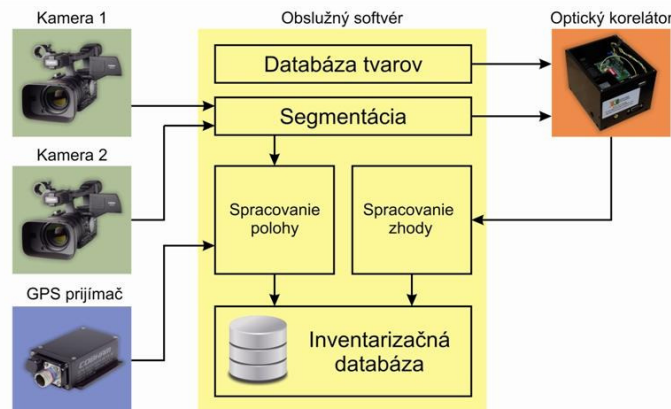
Aplikovaním Fourierovej transformácie na obraz vstupnej roviny dostaneme distribúciu intenzity nazývanú spojeným výkonovým spektrom a definovanú ako:

$$\begin{aligned} & |R(u, v)^{-2\pi j[-ux_1 - vy_1]} + S(u, v)^{-2\pi j[ux_0 + vy_0]}|^2 = \\ & = (|R(u, v)|^2 + |S(u, v)|^2 + \\ & + R^*(u, v)S(u, v)^{-2\pi j(u(x_1 - x_0) + v(y_1 - y_0))} + \\ & + S^*(u, v)R(u, v)^{-2\pi j(u(x_0 - x_1) + v(y_0 - y_1))}) \end{aligned} \quad (4)$$

Koreláciu je možné získať aplikovaním ďalšej Fourierovej transformácie na získané spojené výkonové spektrum. Distribúcia intenzít získaná v druhom kroku obsahuje požadované korelačné intenzity, ktoré sú zobrazené ako páry symetrických bodov. Intenzita bodov zodpovedá miere podobnosti referenčného a vstupného obrazu. Pozícia bodov zodpovedá relatívnej pozícii medzi vstupným a referenčným obrazom. [2],[5]

### III. ŠTRUKTÚRA INVENTARIZAČNÉHO SYSTÉMU

Úlohou automatického inventarizačného systému je identifikácia a klasifikácia dopravných značiek na základe sekvencie obrazov zaznamenaných sústavou kamier. Každá zaznamenaná snímka je potrebné rozdeliť na samostatné oblasti, ktorých obsah môže reprezentovať obraz dopravnej značky. Binarizáciou jednotlivých oblastí sa vytvára skupina obrazov vhodných pre vstup optického korelátora. Optický korelátor jednotlivé vzorky porovnáva so vzorkami z referenčnej databázy a v prípade zhody zapíše rozpoznajú dopravnú značku do inventarizačnej databázy. Na základe GPS súradníc je počas inventarizácie každej značke priradená informácia o pozícii. GPS súradnice získané prijímačom pri kamerovom systéme sú následne korigované podľa vzdialenosti dopravnej značky od prijímača a podľa jeho horizontálnej orientácie. Na základe vhodnej analýzy získaných vzoriek systém taktiež vyhodnocuje stav jednotlivých značiek a signalizuje zaznamenané nedostatky. Na obrázku je znázornená bloková schéma systému a v ďalšom texte sú stručne opísané jeho základné časti.



Obr. 1 Bloková schéma automatického inventarizačného systému.

#### A. Optický korelátor

Optický korelátor v inventarizačnom systéme predstavuje hlavný výpočtový prvok. Jeho úlohou je vyhodnotiť zhodu obrazov zobrazených vo vstupnej rovine. Výstupom je obraz korelačných špičiek na základe ktorých je určená miera podobnosti porovnávaných obrazov. Intenzita týchto špičiek je priamo úmerná podobnosti porovnávaných obrazov. Ich vzájomná poloha charakterizuje vzájomnú polohu porovnávaných obrazov vo vstupnej rovine. Optický korelátor komunikuje s ovládacím softvérom pomocou DVI rozhrania na vstupe a Ethernetového rozhrania GigE na jeho výstupe.

#### B. Stereoskopický kamerový systém

Pomocou stereoskopického systému kamier inventarizačný systém získava obraz vozovky a okolia z úseku dopravnej komunikácie, na ktorom sa inventarizácia vykonáva. Kamery sú voči sebe horizontálne posunuté, vďaka čomu je možné zabezpečiť rekonštrukciu umiestnenia zaznamenaných objektov v priestore. Rozhranie medzi kamerovým systémom a ovládacím softvérom je zabezpečené pomocou USB rozhrania.

### C. GPS prijímač

GPS prijímač získava informácie o pozícii a horizontálnej orientácii inventarizačného systému. Informácie sú získavané na základe časových známk prijatých z niekoľkých družíc na obežnej dráhe zeme. Získané hodnoty sú k dispozícii vo forme NMEA viet s definovanou štruktúrou. Ovládací softvér komunikuje s GPS prijímačom pomocou USB rozhrania.

### D. Ovládací softvér

Ovládací softvér inventarizačného systému komunikuje s pripojenými perifériami a získava informácie potrebné pre spracovanie. Obraz získaný kamerami pripravuje pre vstup optického korelátora, priradzuje GPS súradnice zaznamenaným snímkam a vyhodnocuje výstup optického spracovania. Spracované informácie nakoniec zapíše do inventarizačnej databázy so všetkými informáciami, ktoré zodpovedajú položkám zoznamu.











## IV. ROZPOZNÁVANIE A KLASIFIKÁCIA

Každá dopravná značka je reprezentovaná kombináciou tvarov a farieb. Jej plocha je tvorená z jednej, alebo niekoľkých farebných častí. Jednotlivé časti dopravnej značky zastupujú v procese rozpoznávania a vyhodnocovania svoju úlohu. Najdôležitejšou časťou je základné ohraničenie dopravnej značky, podľa ktorého je možné určiť minimálne kategóriu dopravnej značky. Presný typ je vo väčšine prípadov možné určiť podľa piktogramu v strede plochy dopravnej značky. Počet krokov rozpoznávania jednej dopravnej značky závisí od jej kategórie. Informačné značky sú tvorené súvislou plochou jedinej farby. Pri spracovávaní tejto kategórie značky je v jednom kroku získaná kategória aj presný typ dopravnej značky. Zákazové a príkazové značky obsahujú okrem farby základného tvaru aj vnútorný piktogram. Základný tvar v tomto prípade určuje iba kategóriu dopravnej značky. Presný typ je následne určený na základe vnútorného piktogramu. [10]

### A. Štruktúra referenčnej databázy tvarov

Referenčnú databázu dopravných značiek tvoria tri skupiny, ktoré prislúchajú trom farbám, predstavujúcim základný tvar dopravných značiek. Jadrom každej skupiny je súbor možných tvarov konkrétnej farby. Každý tvar má následne definované farebné skupiny referenčných piktogramov, ktoré sa môžu vo vnútri daného tvaru nachádzať. V nasledujúcich tabuľkách sú znázornené rôzne príklady korešpondujúcich tvarov s rozdelením do farebných skupín a s uvedenou informáciou o funkcii konkrétneho tvaru v procese rozpoznávania.

Tabuľka 1  
 Znáznornenie štruktúry referenčnej databázy dopravných značiek [13]

Kategória		Typ		
				
		Stav		
		-		

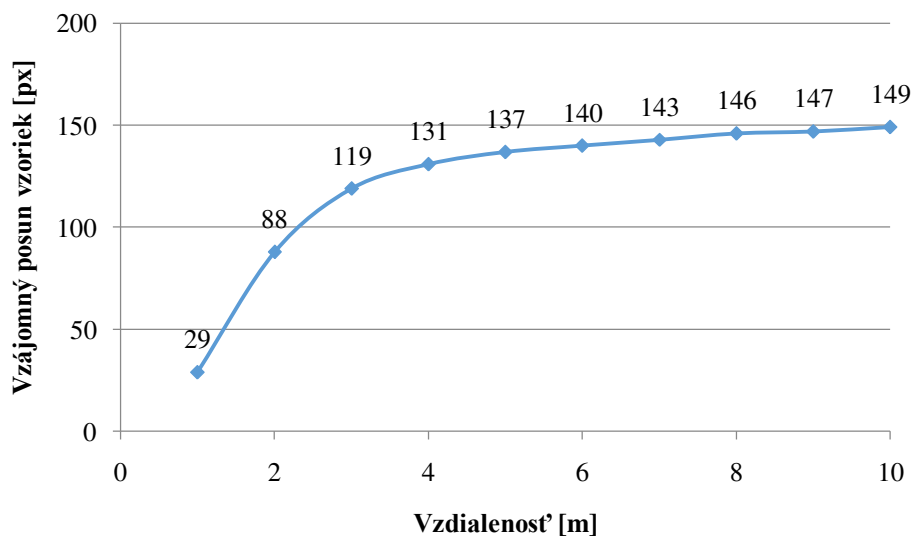
## V. POZÍCIA DOPRAVNEJ ZNAČKY

Jednou z funkcií inventarizačného systému je stanovenie presnej GPS pozície dopravnej značky. GPS prijímač prijíma súradnice polohy inventarizačného systému, resp. kamerového systému umiestneného vo vozidle, ktoré automatickú inventarizáciu vykonáva. Keďže poloha dopravnej značky je odlišná od okamžitej pozície inventarizačného systému, je potrebné vykonať korekciu týchto súradníc. Korekcia sa vykonáva na základe vzdialenosti dopravnej značky od kamerového systému. Do úvahy sa berie taktiež orientácia kamerového systému, čím je zabezpečené presné určenie absolútnej polohy dopravnej značky v priestore. Meranie

vzdialenosti dopravnej značky od kamerového systému je založené na princípe stereoskopie. Porovnaním pozície konkrétneho objektu na oboch zodpovedajúcich si snímkach je možné určiť vzdialenosť skúmaného objektu od kamerového systému.

#### A. Určenie pozície

Súradnice získané GPS prijímačom určujú okamžitú polohu kamerového systému. Táto poloha je však viac či menej odlišná od pozície samotnej dopravnej značky. Pre určenie presnej polohy dopravnej značky je preto potrebné vykonať korekciu získanej polohy na základe vzdialenosti dopravnej značky od kamerového systému a od jeho horizontálnej orientácie. Informácia o horizontálnej informácii je súčasťou NMEA vety, získanej z GPS prijímača. Vzdialenosť dopravnej značky je možné získať na základe stereoskopického merania. Vstupným parametrom tohto merania je rozdiel v umiestnení konkrétnej dopravnej značky medzi korešpondujúcimi snímkami zaznamenanými v jednom momente. Nevyhnutnou súčasťou merania je krivka závislosti medzi rozdielom pozície na snímkach a reálnou vzdialenosťou. Táto krivka sa získava v rámci kalibrácie kamerového systému pred záznamom. Druhým parametrom získaným z videozáznamu je relatívny uhol umiestnenia dopravnej značky oproti horizontálnej orientácii kamerového systému v momente merania. [1],[7],[8],[12]



Obr. 2 Závislosť vzájomného posunu vzoriek na stereoskopických snímkach od reálnej vzdialenosti objektu.

Získaná vzdialenosť a uhol sú použité pre korekciu údajov z GPS prijímača. Výpočtom podľa nasledovných vzťahov sú určené presné GPS súradnice dopravnej značky.

$$\begin{aligned} \varphi_2 &= \arcsin(\sin \varphi_1 \cdot \cos \delta + \cos \varphi_1 \cdot \sin \delta \cdot \cos \theta) \\ \lambda_2 &= \lambda_1 + \arctan2(\sin \theta \cdot \sin \delta \cdot \cos \varphi_1, \cos \delta - \sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2) \end{aligned} \quad (5)$$

kde

$\varphi$  – zemepisná šírka,  $\lambda$  – zemepisná dĺžka,  $\theta$  – orientácia (v smere hodinových ručičiek od severu),  $\delta$  – uhlová vzdialenosť  $d/R$ ;  $d$  – rozdiel vzdialenosti,  $R$  – polomer zeme

#### B. Synchronizácia

Pre spoľahlivé meranie je potrebné zabezpečiť synchronizáciu oboch kamier stereoskopického systému, aby každý pár získaných snímkov bol zaznamenaný v jednom momente a tým pádom aj rozdiel pozície objektu medzi snímkami presne zodpovedajúci vzdialenosti.

Ovládací softvér počas záznamu obrazu z kamier eliminuje efekt vzájomného oneskorenia, ktorý môže byť spôsobený absenciou možnosti hardvérovej synchronizácie týchto kamier. Štandardným zápisom snímkov na základe interného časovania kamier bez synchronizácie je spôsobený vzájomný posun jednotlivých snímkov v čase, čo znemožňuje spoľahlivú rekonštrukciu polohy objektov v priestore. Navyše priamy zápis do súboru má za následok stratu snímkov v čase zápisu, keďže táto operácia môže vyžadovať neúmerne dlhý čas v závislosti na použítom úložnom zariadení. Eliminácia nežiaducich efektov je realizovaná ukladaním okamžitých snímkov z oboch kamier do medzipamäte v jednom momente a následným zápisom do súborov pomocou oddeleného výpočtového vlákna riadeného softvérovým časovačom.

### C. Presnosť

Určenie pozície ovplyvňuje množstvo faktorov, vďaka ktorým môže byť ovplyvnená presnosť tohto určenia. Primárnym faktorom je presnosť samotného GPS prijímača. V závislosti od použitej technológie sa presnosť stanovenia pozície u rôznych prijímačov pohybuje od niekoľkých centimetrov po niekoľko metrov. Ďalším problémom presnosti je perióda získavania aktuálnej pozície GPS prijímačom. U bežne dostupných prijímačov sa táto perióda v optimálnych pracovných režimoch pohybuje okolo 1 sekundy. Pri pohybe vozidla tým pádom vzniká problém s priradením presných GPS súradníc jednotlivým snímkam pri zázname. Tretím faktorom ovplyvňujúcim presnosť určenia pozície dopravnej značky je presnosť synchronizácie kamerového systému. V prípade, že sú snímky vzájomne posunuté v čase, vzniká nepresnosť merania vzdialenosti dopravnej značky od kamerového systému. Nasledujúce vzťahy definujú čiastkové chyby a celkovú chybu inventarizačného systému na základe chyby merania GPS prijímača, rýchlosti inventarizačného vozidla a chyby synchronizácie kamerového systému.[9]

Chybu vzniknutú nízkou obnovovacou frekvenciou je možné určiť na základe vzťahu:

$$\delta_T = \frac{v_v}{f_{GPS}} \quad (6)$$

Pri rovnomernom pohybe v rámci obnovovacej periódy môžeme túto chybu rozdeliť medzi snímky, ktoré boli počas danej periódy zaznamenané:

$$\delta_{T1} = \frac{\delta_T}{f_v} \quad (7)$$

Chybná synchronizácia stereoskopického systému má za následok chybné určenie vzdialenosti dopravnej značky od kamerového systému. Závislosť časového posunu a chyby merania je vyjadrená nasledovným vzťahom:

$$\delta_{sync} = v_v \cdot \Delta t_f \quad (8)$$

Celková chyba merania GPS súradníc je určená súčtom čiastkových chýb podľa vzťahu:

$$\delta = \delta_{GPS} + \delta_T + \delta_{sync} \quad (9)$$

Resp. pri korigovanej chybe obnovovacej frekvencie podľa vzťahu:

$$\delta_1 = \delta_{GPS} + \delta_{T1} + \delta_{sync} \quad (10)$$

kde

$\delta_{GPS}$  – chyba GPS prijímača [m],  $\delta_T$  – chyba obnovovacej frekvencie [m],  $\delta_{T1}$  – korigovaná  $\delta_T$  [m],  $\delta_{sync}$  – chyba synchronizácie [m],  $f_v$  – snímková frekvencia [fps],  $\Delta t_f$  – časový posun korešpondujúcich snímkov [s],  $f_{GPS}$  – obnovovacia frekvencia [Hz],  $v_v$  – rýchlosť vozidla [m.s<sup>-1</sup>]

## VI. STAV DOPRAVNEJ ZNAČKY

Ďalšou funkciou inventarizačného systému je overenie stavu rozpoznanej dopravnej značky. Stav dopravnej značky určuje množstvo parametrov. Prvou skupinou sú geometrické parametre ako správna veľkosť, pozícia, orientácia a natočenie dopravnej značky. Druhú skupinu tvoria parametre, ktoré sú ovplyvňované fyzikálnymi zmenami prebiehajúcimi na povrchu dopravnej značky. Korózia a blednutie farebných pigmentov najviac ovplyvňujú celkový vzhľad a účinnosť vizuálneho vplyvu dopravnej značky. [3],[4],[6],[11]

### A. Kontrola proporcií

Prvým parametrom, ktorý inventarizačný systém vyhodnocuje v rámci overovania stavu dopravnej značky sú jej proporcie. Každá dopravná značka má definované svoje rozmery. Jeden typ dopravnej značky však môže mať vyhotovenie vo viacerých rozmeroch. Zisťovanie presných rozmerov reálnej dopravnej značky preto nemá v tomto procese veľký zmysel. Aj napriek viacerým možným veľkostiam zaznamenaných dopravnej značky, proporcie definovaných rozmerov jedného typu sú konštantné. Porovnaním týchto proporcií medzi reálnou a referenčnou vzorkou je možné vyhodnotiť, či daná dopravná značka má správnu horizontálnu orientáciu, alebo je vychýlená iným smerom.

### B. Kontrola piktogramu

Prvým krokom rozpoznávania je vyhľadávanie základného tvaru dopravnej značky. Tento tvar vo väčšine prípadov charakterizuje kategóriu dopravnej značky. Po úspešnom rozpoznaní základného tvaru je isté, že značka danej kategórie na určenom mieste existuje. Vyhľadávanie piktogramu má v ďalšom kroku dva významy. Prvým je určenie presného typu dopravnej značky. Ďalším významom je kontrola stavu dopravnej značky. Pri úspešnom rozpoznaní



piktogramu je pravdepodobné, že dopravná značka je v poriadku. V prípade, že najvyššia miera podobnosti s referenčnou databázou je pod kritickým minimom, dopravná značka je pravdepodobne poškodená farbou, alebo rôznymi nálepkami.

### C. Kontrola homogenity

Stav dopravnej značky môže byť ovplyvnený koróziou, ktorá sa výrazne podieľa na zhoršení požadovaného vizuálneho vplyvu tejto značky na človeka. Po úspešnom rozpoznaní základného tvaru a piktogramu je možné vyselektovať doplnok k týmto dvom častiam, ktorý predstavuje zvyšnú (vo väčšine prípadov bielu) plochu dopravnej značky. Táto plocha je ideálnym miestom pre test prítomnosti korózie na povrchu dopravnej značky. Keďže celistvosť tejto plochy nebola ovplyvnená farebným filtrom, k dispozícii je ucelený tvar, ktorý by za ideálnych okolností mal byť tvorený jedinou farbou s nízkym rozptylom. Otestovaním farebnej homogenity tejto plochy je možné detekovať prítomnosť degradácie materiálu na povrchu, alebo miernu deformáciu dopravnej značky, ktorá je charakterizovaná odlišným svetelným odrazom v rôznych častiach.

### D. Kontrola kontrastu

Z dôvodu rôznych svetelných podmienok a šumu kamerového senzora farebný filter pri predspracovaní berie do úvahy namiesto jedinej presne určenej farby širší rozsah farieb. Farebný filter môže tým pádom akceptovať aj tvary dopravných značiek, ktorých nasýtenie farbou je znížené vyblednutím pôvodnej farby. Definovaním minimálneho požadovaného kontrastu je možné vyhodnotiť, či farebné časti dopravnej značky sú voči sebe dostatočne kontrastné. Táto kontrola je realizovaná stanovením priemerných hodnôt farebných parametrov v jednotlivých farebných častiach a ich vzájomným porovnaním a vyhodnotením odstupu príslušných parametrov.

## VII. ZÁVER

Automatický inventarizačný systém dokáže výrazne zefektívniť manažment dopravného značenia. Navrhnutá štruktúra inventarizačného systému používa optický korelátor ako hlavný výpočtový prvok pre rozpoznanie a klasifikáciu zaznamenaných dopravných značiek. Hlavnou výhodou použitia optického korelátora je jeho schopnosť rýchleho spracovania obrazu. Okrem generovania jednoduchého zoznamu dopravných značiek inventarizačný systém dokáže určiť ich presnú polohu a vyhodnotiť ich stav. Presnosť určenia pozície závisí od rýchlosti pohybu inventarizačného vozidla a presnosti použitých periférií. Vyhodnotenie stavu jednotlivých dopravných značiek je vykonávané v niekoľkých krokoch. Podstatnými faktormi ovplyvňujúcimi vyhodnocovanie stavu sú proporcie dopravných značiek, farebná zhoda, farebný rozptyl a kontrast farieb jednotlivých farebných častí.

## REFERENCIE

- [1] Ai, C. 2013. *A Sensing Methodology for an Intelligent Traffic Sign Inventory and Condition Assessment Using GPS/GIS, Computer Vision and Mobile Lidar Technologies*, A Ph.D. Dissertation Presented to The Academic Faculty, Georgia Institute of Technology, May 2013
- [2] Cambridge optical correlator, published on <http://www.cambridgecorrelators.com/technology.html>
- [3] Ellison, J. W. 2008. "Tapping into the Power of a Traffic Sign Inventory to Meet the New Retroreflectivity Requirements" *Compendium of Technical Papers*, 2008 Annual Meeting and Exhibit, Anaheim, CA, Institute of Transportation Engineers.
- [4] Evans, T., Heaslip, K., Boggs, W., Hurwitz, D., Gardiner, K. "Assessment of Sign Retroreflectivity Compliance for Development of a Management Plan." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2272, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2012, pp. 103–112. DOI: 10.3141/2272-12
- [5] Goodman, J. 2004. *Introduction to Fourier Optics*, Greenwood Village: Roberts & Company Publishers, USA, ISBN 0-9747077-2-4
- [6] Hienonen, P. 2014. *Automatic traffic sign inventory- and condition analysis*, Master's Thesis, Lappeenranta University of Technology, School of Industrial Engineering and Management
- [7] Holzmann, C., Hochgatterer, M. 2012 "Measuring Distance with Mobile Phones Using Single-Camera Stereo Vision." 32<sup>nd</sup> *International Conference on Distributed Computing Systems Workshops*
- [8] Mrovlje, J., Vrančić, D. 2008. "Distance measuring based on stereoscopic pictures", 9<sup>th</sup> *International PhD Workshop on Systems and Control: Young Generation Viewpoint*, Izola, Slovenia.
- [9] Svetlana, E., *Reach\*: Intel® Edison-Based Device is Making Highly Precise GPS Affordable for Everyone*, <https://software.intel.com/en-us/articles/reach-intel-edison-based-device-is-making-highly-precise-gps-affordable-for-everyone>
- [10] Tóth, Š. 2011. "Rozpoznanie dopravných značiek a ich použitie v mapových aplikáciách." In. GIS Ostrava, Czech Republic
- [11] Wolshon, B. 2003. *Louisiana Traffic Sign Inventory and Management System*, Louisiana Transportation Research Center, September 2003
- [12] Yadav, A., Mohite-Patil, T.B. 2012. "Distance Measurement with Active & Passive Method." *International Journal of Computer Science and Network(IJCSN)*, Volume 1, Issue 4, August 2012, ISSN 2277-5420, pages 16-19
- [13] Zoznam dopravných značiek na Slovensku, [http://sk.wikipedia.org/wiki/Zoznam\\_dopravn%C3%BDch\\_zna%C4%8Diek\\_na\\_Slovensku](http://sk.wikipedia.org/wiki/Zoznam_dopravn%C3%BDch_zna%C4%8Diek_na_Slovensku)

# Obrazová steganografia na báze výberu krycieho obrazu

<sup>1</sup>Michal PREPILKA, <sup>2</sup>Vladimír HAJDUK, <sup>3</sup>Dušan LEVICKÝ

<sup>1,2,3</sup>Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>1</sup>michal.prepilka@student.tuke.sk, <sup>2</sup>vladimir.hajduk@tuke.sk, <sup>3</sup>dusan.levicky@tuke.sk

**Abstrakt** — Moderné steganografické systémy sú v neustálom vývoji už niekoľko posledných desaťročí. Výskum teda priniesol množstvo účinných steganografických algoritmov, pracujúcich v rôznych oblastiach, pričom ako krycie médium sa využíva akýkoľvek typ multimediálnych dát. Táto práca sa nezaobrá návrhom ďalšieho vkladacieho algoritmu, ale prináša určitú prídavnú metódu, ktorou je možné zvýšiť bezpečnosť známych steganografických metód. Touto prídavnou metódou je výber optimálneho krycieho obrazu k vkladanej tajnej správe. Tajná správa totiž nemusí vykonať rovnaký počet zmien v tom-ktorom obraze. Cieľom je nájsť taký obraz, v ktorom dosiahneme najmenej zmien s ohľadom na dĺžku trvania samotného výberu.

**Kľúčové slová** — obrazová steganografia, krycí obraz, LSB, porovnávanie

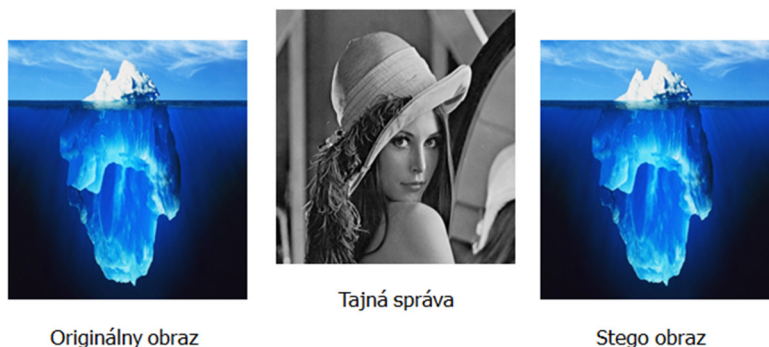
## I. ÚVOD

Utajenie komunikácie v steganografii prebieha pomocou ukrývania dát. Keďže nikto nechce byť odhalený, odpočúvaný a nikto nechce, aby sa o ich komunikácii dozvedel niekto iný, tak sa tieto metódy musia neustále zdokonaľovať. Pri zdokonaľovaní týchto metód nám môže pomôcť aj stegoanalýza [1], [2].

Úlohou stegoanalýzy je vyhodnotiť štatistické parametre, pomocou ktorých sa neskôr bojuje proti steganografii. Keďže je steganografia veľmi dobrým nástrojom pre ukrytie tajnej správy, môžu ju využívať aj ľudia, ktorí nás môžu bezprostredne ohroziť. Práve preto sa musí stegoanalýza stále zdokonaľovať a musia sa vyvíjať stále nové metódy pre odhaľovanie týchto druhov správ [3], [4].

## II. STEGANOGRAFIA

Úlohou steganografie nie je šifrovať správu. Pre tento účel bola vyvinutá kryptografia. Na rozdiel od nej má steganografia za úlohu ukryť existenciu samotnej komunikácie. Prebieha to tak, že sa informácie ukrývajú do iných informácií.

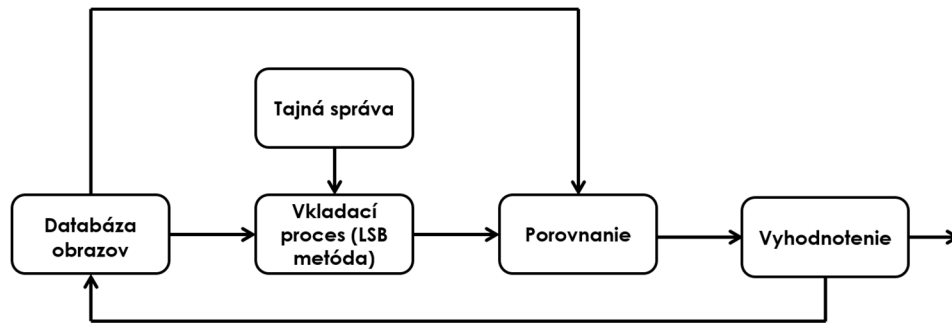


Obr. 1 Obrazová steganografia

Na Obr. 1 môžeme vidieť príklad fungovania obrazovej steganografie. Vľavo máme originálny obraz. Do tohto obrazu sa vloží tajná správa (obraz Lena). Nakoniec spojením týchto dvoch obrazov vzniká stego obraz. Stego obraz teda predstavuje obraz po vkladacom procese.

### III. OBRAZOVÁ STEGANOGRAFIA NA BÁZE VÝBERU KRYCIEHO OBRAZU

Blokový diagram steganografického systému na báze výberu krycieho obrazu je ilustrovaný na Obr. 2.



Obr. 2 Blokový diagram navrhutej metódy

V prvom kroku sa vytvorí databáza krycích obrazov. Čím je databáza obrazov väčšia, tým je aj šanca na nájdenie vhodnejšieho krycieho obrazu väčšia. Pod pojmom vhodnejší sa myslí obraz taký, ktorý minimalizuje počet zmien spôsobených vložením tajnej správy. Pri veľkých databázach obrazov však dochádza k výraznému predĺženiu procesu hľadania. Preto je vhodné zvoliť si optimálnu veľkosť databázy [5].

Následne sa vyberie obraz z databázy obrazov a presunie sa do fázy vkladania. V tejto fáze sa vloží tajná správa. V našom experimente sme pre jednoduchosť zvolili vkladaciu metódu LSB (Least Significant Bit). Ako už bolo spomenuté skôr, ide len o prídavnú metódu, teda metóda LSB je pre naše podmienky postačujúca. Ak vkladanie prebehne úspešne, tak z krycieho obrazu vznikne stego obraz, ktorý postúpi do ďalšieho bloku, kde sa pristúpi k porovnaniu [6].

Porovnávací blok má za úlohu porovnať krycí obraz pred vkladacím procesom a stego obraz po vkladacom procese. Tu prichádza na rad aj stegoanalýza. Vyberú sa štatistické parametre, ktorými sa bude porovnávací proces riadiť. Tu si porovnanie vieme rozdeliť na dva spôsoby. Prvý spôsob využíva tzv. referenčnú hodnotu. Táto referenčná hodnota určuje minimálnu hodnotu parametra v percentách. Napríklad si vyberieme štatistický parameter *number of changes* (počet zmien) a nastavíme ho na hodnotu 70%. Takto si určíme referenčnú hodnotu. Obrazová steganografia na báze výberu krycieho obrazu je úspešná vtedy, ak stego obraz sa od krycieho obrazu nelíši vo viac ako 10% percentách koeficientov. Čiže splňuje referenčnú hodnotu 70%. Druhý spôsob je, že nebudeme používať referenčnú hodnotu, ale použijeme určitú veľkosť databázy obrazov, na ktorú aplikujeme vkladací proces. Následne sa vyberie obraz, ktorý je najvhodnejší. Prejdeme do ďalšieho bloku algoritmu. Ide o blok „rozhodovania“ [7].

Tento blok je zároveň posledným krokom algoritmu. Tu sa rozhoduje o tom, či sa bude hľadať ďalší obraz v databáze obrazov alebo nám daný obraz postačuje. Tu sa prihliada na referenčnú hodnotu. Ak je referenčná hodnota splnená, algoritmus sa považuje za dokončený a výsledný stego obraz za vhodný. Avšak ak sa rozhodne o tom, že daný obraz nespĺňa referenčnú hodnotu, algoritmus sa považuje za neúspešný a vracia sa naspäť k databáze obrazov [5].

### IV. EXPERIMENTÁLNE VÝSLEDKY

Výsledky experimentu sú závislé od počtu obrazov v obrazovej databáze, ako aj od porovnávacieho parametra. Z teórie vyplýva, že čím väčšia je databáza obrazov, tým je počet zmien vo vybranom krycom obraze po vložení menší. Zvyšovanie databázy však znevýhodňuje dĺžku výpočtov, a tak celkové hľadanie optimálneho obrazu. Preto je dôležité rozhodnúť, akú veľkú databázu zvolíme.

Výsledky experimentu taktiež závisia od vlastností počítača, ktorý použijeme, keďže vyšší výpočtový výkon znamená rýchlejší prepočet parametrov. Aj to má vplyv na veľkosť databázy, avšak len nepriamo, keďže môžeme použiť steganografiu na viac obrazov za rovnaký čas.

Pre experiment sme použili databázu 500 obrazov. Následne sme si určili množstvo obrazov na ktoré sme aplikovali algoritmus. Konkrétne išlo o hodnoty: 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 a 500 obrazov. Rozdelili sme si to takto hlavne z dôvodu zistenia závislosti času od veľkosti databázy obrazov. Logicky sa táto hodnota zväčšovaním databázy zvyšovala. Pre každú veľkosť databázy sme si vypočítali počet zmien a PSNR.

Každý znak tajnej správy má veľkosť 1 bajtu. Táto hodnota závisí od hodnoty, ktorú nájdeme v ASCII tabuľke.

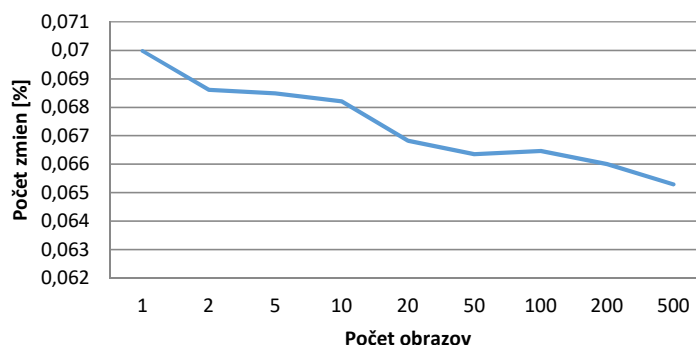
Výsledkom tohto experimentu by malo byť znižovanie počtu zmien so vzrastajúcou obrazovou databázou. Postúpime k demonštrácii výsledkov.

V nasledujúcej tabuľke (Tabuľka 1) sú uložené priemerné hodnoty parametrov, ktoré boli namerané pri použití tajnej správy o dĺžke 1 000 znakov. Namerali sme hodnoty počtu zmien v rozmedzí od 0,065 do 0,07. Doba porovnania sa veľmi nezvýšila. Ba naopak v niektorých prípadoch je ešte nižšia. To mohlo byť ovplyvnené aktuálnym zaťažením procesora pri výpočte.

Tabuľka 1  
 Maximálna vkladacia kapacita QR kódu (verzia 40)

Počet obrazov	Dĺžka správy [znak]	Počet zmien [%]	PSNR [dB]	Čas [s]
1	1000	0,0699	79,68	1,24
2	1000	0,0686	81,75	2,16
5	1000	0,0684	73,39	3,82
10	1000	0,0682	79,76	7,77
20	1000	0,0668	79,72	16,22
50	1000	0,0663	70,23	39,24
100	1000	0,0664	79,74	76,57
200	1000	0,0659	76,54	144,68
500	1000	0,0652	79,70	359,73

Na Obr. 3 je zobrazená závislosť počtu zmien po vkladaní od veľkosti databázy krycích obrazov. Je zrejmé, že pri najväčšej databáze (500 obrazov) sa hodnota počtu zmien dostala na najnižšiu hodnotu. To dokazuje naše tvrdenie, že vzrast obrazovej databázy minimalizuje počet zmien po vkladaní. Percentuálny počet zmenených bitov po vkladaní klesol z 0,07 na 0,065, čo predstavuje pokles počtu zmien o 7%. Pri použití 200 obrazov bol pokles o takmer 6%. Výsledná zobrazená závislosť je priemerom piatich meraní s piatimi rôznymi tajnými správami.



Obr. 3 Priemerný počet zmien pre tajnú správu o dĺžke 1 000 znakov

Doba hľadania optimálneho obrazu v obrazovej databáze sa líšila v závislosti od dĺžky tajnej správy aj veľkosti obrazovej databázy. Pri zvyšovaní čo i len jedného z týchto činiteľov sa doba hľadania zvyšovala. Obr. 4 ilustruje vzrast doby hľadania so zvyšujúcou sa obrazovou databázou pre správu dlhú 1 000 znakov. Až pri použití 10 obrazov v databáze badať zvýšenie doby hľadania. Pri päťdesiatich obrazoch je to skoro o jednu minútu, pri 500 už takmer o 6 minút.



Obr. 4 Doba hľadania optimálneho obrazu pre tajnú správu o dĺžke 1 000 znakov

## V. ZÁVER

V našom experimente sme porovnávali niekoľko veľkostí databáz. Pri meraní kde sme použili tajnú správu o dĺžke 1 znaku bola optimálna veľkosť databázy 200 obrazov. No pri meraní s tajnou správou o dĺžke 10 000 znakov bola optimálna veľkosť databázy už 100 obrazov. Avšak podľa ostatných výsledkov a meraní sme sa rozhodli, že optimálnou je databáza o veľkosti 200 obrazov. Pri takejto veľkosti sme dosiahli porovnateľné výsledky ako pri databáze o veľkosti 500 obrazov. Výhodou bolo, že tieto výsledky sme dosiahli za kratší čas.

Z uvedených experimentálnych výsledkov vyplýva, že z hľadiska maximalizácie bezpečnosti steganografického systému je najlepšia veľkosť databázy tá najväčšia. V našom prípade to bola databáza o veľkosti 500 obrazov. No vzhľadom na čas potrebný pre nájdenie optimálneho krycieho obrazu sme dospeli k názoru, že optimálnou databázou pre dĺžku tajnej správy 1 000 znakov je tá, ktorá obsahovala 200 obrazov. Počet zmien by klesol o 6%, pričom doba hľadania by bola 2,5 minúty.

Záverom tejto práce je konštatovanie, že navrhnutý steganografický systém na báze výberu krycieho obrazu zvyšuje bezpečnosť systému z pohľadu minimalizácie zmien obrazových prvkov. Môžeme teda povedať, že je vhodný pre implementáciu a zvýšenie bezpečnosti akejkoľvek metódy obrazovej steganografie, napr. aj vkladacej metódy LSB [8].

## POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt „(Centrum informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy) (kód ITMS:26220120020), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja“ a vďaka grantu Ministerstva školstva Slovenskej republiky (MŠ SR) VEGA Grant č. 1/0075/15.

## ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] A. Kaur, R. Kaur, N. Kumar, “A review on image steganography techniques,” *International Journal of Computer Applications*, August 2015, vol. 123, no. 4, pp. 20-24, ISSN 0975-8887.
- [2] M. Broda, V. Hajduk, D. Levický, “Image steganography based on combination of YCbCr color model and DWT,” in *ELMAR, 2015 57th International Symposium*, pp. 201-204, 28-30 Sept. 2015.
- [3] R. Böhme, “Advanced Statistical Steganalysis,” Dresden: Springer 2010, 288 s. ISBN 978-3-642-14312-0.
- [4] V. Bánoci, M. Broda, G. Bugár, D. Levický, “Universal image steganalytic method”, *Radioengineering*, December 2014, vol. 23, no. 4, pp. 1213-1220, ISSN 1210-2512.
- [5] M. Kharrazi, H. T. Sencar, N. Memon, “Cover selection for steganographic embedding” 2006 International Conference on Image Processing, Atlanta, GA, 2006, pp. 117-120, doi: 10.1109/ICIP.2006.312386.
- [6] J. Oravec, J. Turán, E. Ovseník, “LSB steganography with usage of Mojette Transform for secret image scrambling,” 2016 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP), Bratislava, 2016, pp. 1-4.
- [7] V. Hajduk, D. Levický, “Cover selection steganography,” in *Proceedings ELMAR-2016, 58th International Symposium, Zadar, 2016*, pp. 205-208, ISBN 978-953-184-221-1.
- [8] W. Luo, F. Huang, J. Huang, “Edge adaptive image steganography based on LSB matching revisited,” *IEEE Trans Inform Forensics Secure*, 5 (2) (2010), pp. 201–214.

# Meracie pracovisko pre záznam a spracovanie EKG signálov s možnosťou vzdialeného prístupu

Rastislav JURČ, Pavol DOLINSKÝ, Linus MICHAELI

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovak Republic

rastislav.jurc.2@student.tuke.sk, pavol.dolinsky@tuke.sk, linus.michaeli@tuke.sk

**Abstrakt** — Tento článok sa zaoberá návrhom a implementáciou hardvérových a softvérových komponentov, ktoré tvoria komplexný merací systém na spracovanie a zaznamenávanie signálov EKG. Konečný merací prístroj a riadiaci program s diaľkovým prístupom cez webový prehliadač budú použité pre praktické cvičenia v predmete "Lekárska elektronika" na katedre elektroniky a multimediálnych telekomunikácií v Košiciach.

**Kľúčové slová** — elektrokardiografia, EKG signál, merací systém, EKG záznam, spracovanie EKG signálu, vektorkardiografia

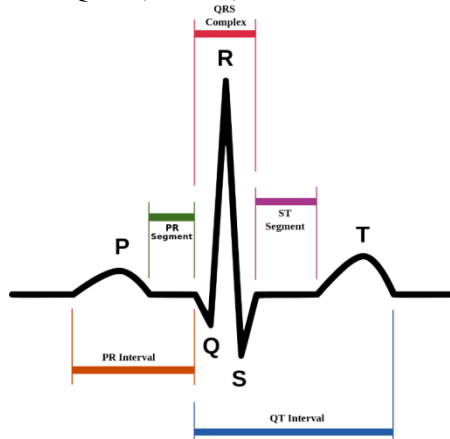
## I. ÚVOD

Elektrokardiografia (EKG) je lekárska vyšetrovacia metóda, ktorá sníma elektrické potenciály z oblasti srdca. Je jedna z najčastejšie používaných diagnostických metód v základnom vyšetrení fyziologických funkcií človeka. Neinvazívne vyšetrenie srdca pomocou EKG umožňuje zistiť poruchy srdcového rytmu (arytmie), srdcový infarkt a pod. Elektrické pulzy sa snímajú pomocou prístroja označovaného ako elektrokardiograf. Tieto prístroje neinvazívnou metódou vykonávajú a zaznamenávajú funkčné vyšetrenie aktivity srdcového svalu [1].

Navrhovaný systém bude principiálne schopný spracovať signály snímané z povrchu ľudského tela ako profesionálny elektrokardiograf. Zosnímané signály sa vyhodnotia podľa najpoužívanejších zvodových systémov súčasnosti, a to pomocou bipolárnych, unipolárnych a hrudníkových zvodových systémov.

## II. ELEKTROKARDIOGRAM

Záznam signálu, ktorý sa získa pomocou elektrokardiografu sa nazýva elektrokardiogram. Skladá sa z P-vlny, komplexu QRS a T-vlny. QRS komplex tvoria zvyčajne tri separátne výkyvy elektrického potenciálu – Q-vlna, R-kmit, S-vlna.



Obr. 1 Elektrokardiogram [3]

Začiatok srdcového cyklu predstavuje šírenie vzruchu v predsieňach, ktoré sa prejavuje plytkou pozitívnou P vlnou, trvajúcou približne 0,08s. Po depolarizácii predsieni sa na elektrokardiograme objavuje izoelektrická čiara, ktorá tvorí úsek PQ trvajúci tiež približne 0,08s. Potom nasleduje komorový komplex QRST zložený z negatívnej vlny Q, pozitívneho kmitu R a negatívneho kmitu S. Komplex QRS trvá opäť asi 0,08s. Záznam pokračuje na izoelektrickej úrovni približne 0,12s a vytvára ST segment. Poslednou zložkou je vlna T a tá trvá približne 0,16s [2].

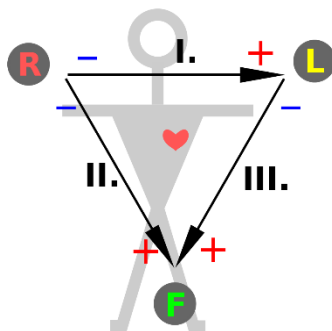
### III. ELEKTROKARDIOGRAFICKÉ ZVODOVÉ SYSTÉMY

Existuje niekoľko typov zvodových systémov. My pracujeme s bipolárnym zvodovým systémom podľa E. Einthovena, unipolárnym zvodovým systémom podľa J. Goldberga a hrudníkovým systémom podľa Wilsona.

#### A. Bipolárny zvodový systém

Na obrázku je znázornené zapojenie na zaznamenávanie elektrokardiogramov z tzv. štandardných bipolárných končatinových zvodov. Označenie bipolárny znamená, že elektrokardiogram sa zaznamenáva z dvoch elektród na tele, v tomto prípade na končatinách.

Zvod je kombinácia dvoch vodičov a ich elektród, ktoré tvoria kompletný okruh s elektrokardiografom reprezentovaným elektrickým meracím zariadením so zapisovačom [2].



Obr. 2 Bipolárne končatinové zvody [4]

Pre výpočet potenciálov pre jednotlivé bipolárne zvody platí jednoduchý matematický aparát. Výsledný potenciál zvodu je rovný rozdielom potenciálov bodov, ktoré tento zvod tvoria.

$$I = V_{LA} - V_{RA} \quad (1)$$

$$II = V_{LL} - V_{RA} \quad (2)$$

$$III = V_{LL} - V_{LA} \quad (3)$$

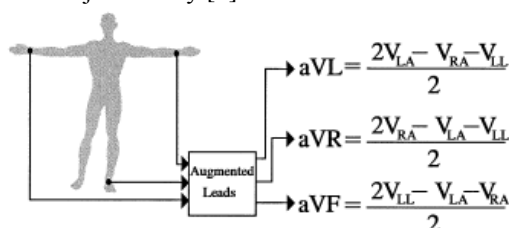
kde  $V_{LA}$  je potenciál ľavého ramena,  $V_{RA}$  je potenciál pravého ramena a  $V_{LL}$  je potenciál ľavej nohy.

#### B. Unipolárny zvodový systém

Pri tomto type záznamu sú dve končatiny spojené cez elektrické odpory s negatívnym terminálom elektrokardiografu a tretia končatina je spojená s pozitívnym terminálom.

Ak je pozitívny terminál na pravej ruke, zvod sa označuje ako aVR, ak je na ľavej ruke označuje sa ako zvod aVL a ak je na ľavej nohe, označuje sa ako zvod aVF. Záznamy sa podobajú štandardným končatinovým zvodom, no záznam vo zvode aVR je však obrátený.

Na rozdiel od Einthovenových bipolárných zvodov, kde každý zvod reprezentuje rozdiel potenciálov medzi dvoma elektródami tak u unipolárných Goldbergových zvodov každý zvod reprezentuje potenciál príslušnej elektródy [2].

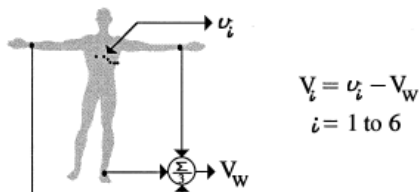


Obr. Zapojenie unipolárných zvodov s príslušným matematickým aparátom [5]

### C. Hrudníkové zvody

Elektrokardiogram možno zaznamenať aj elektródami umiestenými na prednej strane hrudníka nad srdcom, a to na jednom zo šiestich separátnych bodov. Elektródy sa pripájajú k pozitívnemu terminálu elektrokardiografu a tzv. indiferentná elektróda je pripojená cez elektrický odpor k pravej ruke, ľavej ruke a ľavej nohe.

Pretože povrch srdca je blízko steny hrudníka, hrudníkové zvody zaznamenávajú aj pomerne malé abnormality najmä v prednej stene komôr [2].



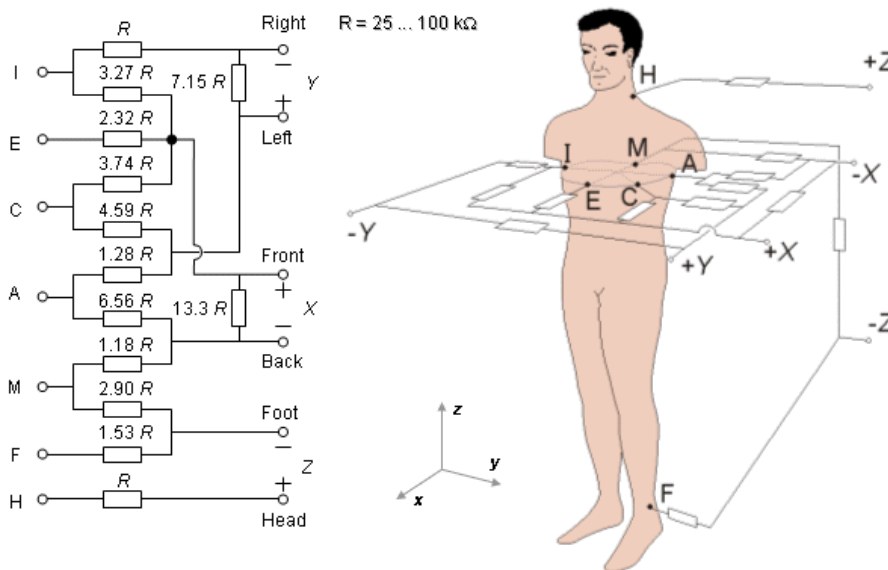
Obr. 3 Výpočet potenciálov pre hrudníkové zvody [5]

### IV. VEKTORKARDIOGRAFIA

Každá zmena v prenose vzruchu môže vyvolať abnormality v elektrických potenciáloch srdca a meniť záznam EKG. Väčšinu závažnejších abnormalít srdcového svalu možno zachytiť a analyzovať z tvarov vln elektrokardiogramov [2].

Počas srdcového cyklu sa elektrický prúd šíri v určitom momente určitým smerom. Keďže štandardné zvody poskytujú záznam rozdielu napätia medzi dvoma bodmi, výchylka v každom zvide a v každom momente ukazuje veľkosť a smer elektromotorickej sily generovanej srdcom v osi zvodu. Dĺžka vektora je proporcionálna veľkosti potenciálu [2].

Existuje niekoľko zvodových systémov pre oblasť vektorovej kardiografie. V našom prípade sa pokúsime zrealizovať Frankov zvodový systém, ktorého zapojenie elektród je na nasledujúcom obrázku.



Obr. 4 Zapojenie zvodov pre Frankov zvodový systém [6]

### V. SNÍMANIE A ANALÝZA EKG SIGNÁLOV

Na zachytenie priebehov meraných EKG signálov potrebujeme zariadenie obsahujúce vysokonapäťovú ochranu, prístrojový zosilňovač a filter typu horný priepust.

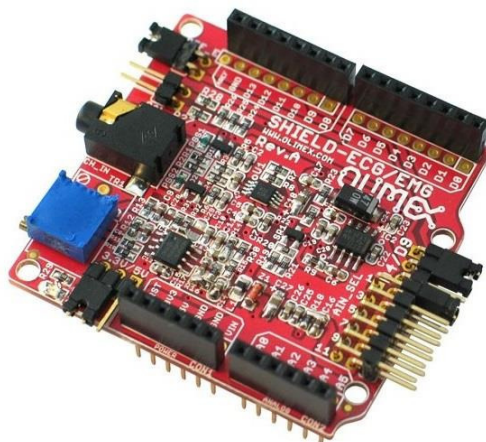
Prístrojový zosilňovač slúži na meranie diferenčných signálov, kde zosilňuje rozdiel vstupných napätí a potlačuje súčtové napätie na vstupe. Takýto zosilňovač sa vyznačuje veľkým vstupným odporom a veľkým činiteľom potlačenia súčtového signálu CMRR.

#### A. Modul SHIELD EKG/EMG

Modul obsahuje všetky vyššie spomínané bloky potrebné k zachyteniu EKG signálu. Vzhľadom na jeho veľkosť, jednoduchosť a cenu sa stal predmetom záujmu a teda výberom ako hlavný komponent pre realizáciu meracieho pracoviska. K vstupu modulu sa pripájajú pomocou



vodičov prísavné AgAg/Cl elektródy 15 mm.



Obr. 5 Modul SHIELD EKG/EEG [7]

#### B. Meracia karta DAQ NI-USB 6009

Na prenos zachyteného signálu do počítača, pomocou modulu SHIELD EKG, použijeme meraciu kartu DAQ NI-USB 6009, ktorú vyvinula spoločnosť National Instruments. Táto karta ako aj iné od spoločnosti NI sú plne kompatibilné s vývojovým prostredím LabView, kde po nainštalovaní príslušných ovládačov a pripojení karty môžeme kartu využívať v jej plnom rozsahu.



Obr. 6 Meracia karta NI-USB 6009 [8]

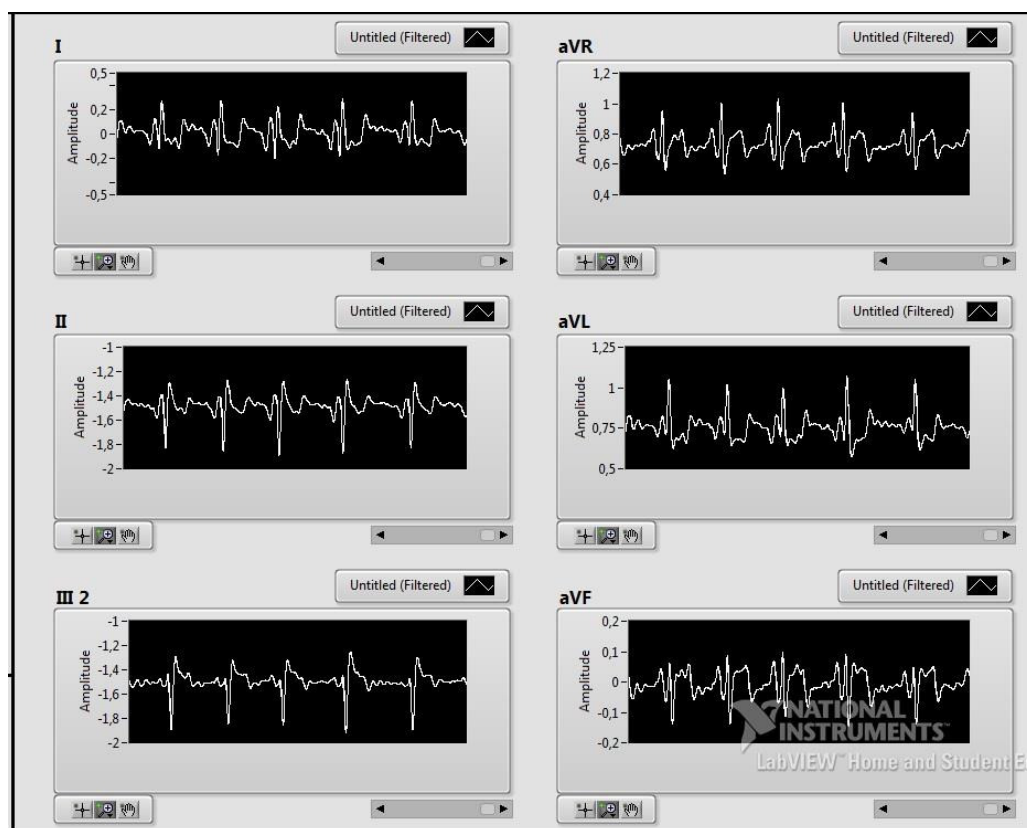
Meracia karta obsahuje 4 analógové diferenčné vstupy (14 bitový AD prevodník) a 8 obyčajných analógových vstupov. S vzorkovacou frekvenciou až do 48 kHz úplne postačuje našim potrebám.

Karta je pripojená k počítaču pomocou univerzálnej sériovej zbernice USB, ktorá zabezpečuje jej napájanie a taktiež prenos údajov medzi kartou a počítačom [8].

#### C. Zobrazenie zvodových systémov

Z potenciálov pravej a ľavej ruky príslušnými matematickými operáciami získame priebehy EKG signálu pre bipolárny končatinový zvodový systém s označením zvodov ako I, II a III a unipolárny končatinový zvodový systém s označením zvodov ako aVR, aVL, aVF.

Rovnako sa vyhodnocujú tieto systémy aj v prípade, že vstupné signály sú nahraté zo súboru. Na grafických displejoch sa zobrazí príslušný priebeh EKG signálu.



Obr. 7 Zobrazenie zvodových systémov

#### D. Analýza EKG krivky

V nasledujúcej tabuľke sú pre porovnanie zobrazené hodnoty správneho EKG signálu a jedného nami nameraného signálu. Tieto hodnoty sme získali analyzovaním jednej EKG krivky, ktorú sme zasa získali spríemernením celého signálu.

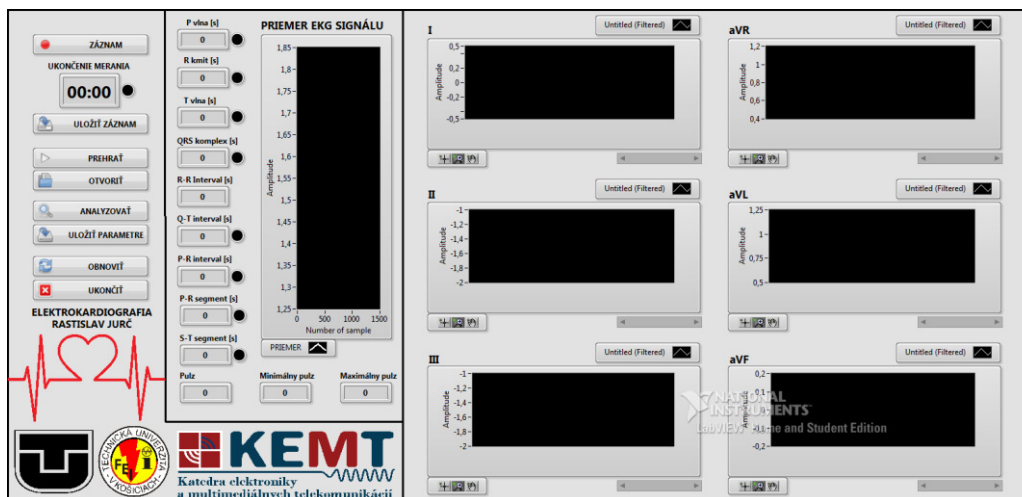
Okrem zobrazenia výsledkov analýzy na prednom paneli sa tieto výsledky uložia taktiež do textového súboru a sú k dispozícii pre neskoršie použitie.

	Požadované hodnoty	Namerané hodnoty
P vlna [s]	cca 0,08	0,07
R kmit [s]	cca 0,08	0,07
T vlna [s]	< 0,16	0,15
QRS komplex [s]	0,06 - 0,12	0,11
R-R interval [s]	0,83	0,98
Q-T interval [s]	0,2 - 0,4	0,37
P-R interval [s]	cca 0,16	0,14
P-R segment [s]	0,08	0,07
S-T segment [s]	0,12	0,11
Pulz [ $\text{min}^{-1}$ ]	cca 72	61
Minimálny pulz [ $\text{min}^{-1}$ ]	-	51
Maximálny pulz [ $\text{min}^{-1}$ ]	-	87

Tab. 1 Deterministické parametre EKG

#### E. Predný panel

Všetky analyzované výsledky je potrebné vhodným spôsobom interpretovať užívateľovi tak, aby boli prehľadné a jasne čitateľné. Predný panel sa skladá z troch častí. Ovládacia časť, ktorá sa nachádza naľavo, časť zobrazujúca deterministické parametre spoločne s vypočítaným priemerom umiestnená v strede predného panelu, a časť obsahujúca grafické indikátory s priebehmi EKG signálov vypočítaných podľa zvodových systémov nachádzajúca sa vpravo.



Obr. 8 Predný panel

## VI. ZÁVER

Hlavným cieľom práce je spracovať danú problematiku a vytvoriť merací systém na záznam a spracovanie EKG signálov, ktorý by neskôr slúžil ako učebná pomôcka pre potreby predmetu Lekárska elektronika. Dôležitým bodom bolo vytvorenie hardvérovej časti zachytávajúcej elektrické potenciály srdca, ale aj vytvorenie softvérovej časti a to riadiaceho programu, ktorý spravuje a vykonáva všetky potrebné matematické operácie so vstupnými signálmi.

Vytvorili sme komplexný systém na spracovanie signálov vytvorených elektrickou aktivitou srdca. Použitie hardvérové komponenty dostatočne a pomerne s veľkou presnosťou poskytujú výsledky porovnateľné s profesionálnymi meracími prístrojmi. Modul zachytávajúci a zosilňujúci EKG signál bol pomerne lacný a pri kombinácii s kvalitnou meracou kartou od spoločnosti National Instruments, ktorá vstupné signály previedla do digitálnej podoby a o ktoré v laboratóriu nie je núdza, a riadiacim programom nám dáva k dispozícii kvalitný a lacný EKG prístroj vhodný pre teoretickú výučbu či prax pre ďalších poslucháčov, ktorí by mali záujem venovať sa tejto oblasti.

## POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore projektu KEGA 015TUKE-4/2016.

## POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] WIKIPEDIA.: Elektrokardiografia. [online]. [cit. 2017-6-14]. Dostupné na internete: <https://sk.wikipedia.org/wiki/Elektrokardiografia>
- [2] JAVORKA, K. et. al.: Lekárska fyziológia. Martin: Osveta, 2001. 678 s. ISBN 80-8063-023-2
- [3] WIKISKRIPTA.: EKG (pediatrie). [online]. [cit. 2017-6-14]. Dostupné na internete: <http://www.wikiskripta.eu/index.php/Soubor:ECG-PQRST%2Bpopis.svg>
- [4] WIKISKRIPTA.: Elektrody pro diagnostiku. [online]. [cit. 2017-6-14]. Dostupné na internete: <http://www.wikiskripta.eu/index.php/Soubor:ECG-Einthoven-triangle.svg>
- [5] BRONZINO, J.D. et.al.: The Biomedical Engineering Handbook. Third edition. CRCPress, 2006. 1512 s. ISBN 08-4930-462-8
- [6] BEM.: VECTORACARDIOGRAPHIC LEAD SYSTEMS. [online]. [cit. 2017-6-19]. Dostupné na internete: <http://www.bem.fi/book/16/16.htm>
- [7] OLIMEX.: SHIELD-EKG-EMG [online]. [cit. 2017-6-17]. Dostupné na internete: <http://rlx.sk/sk/biometric-medical-e-health-sensor-eeg-ekg/1155-shield-ekg-emg-ekg-emg-shield-for-arduino-compatible-board.html>
- [8] NATIONAL INSTRUMENTS.: NI-USB 6009. [online]. [cit. 2017-6-17]. 7 s. Dostupné na internete: <http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-218>

# Demonštračné pracovisko pre protokol Modbus

<sup>1</sup>Marián VITALIŠ, <sup>2</sup>Imrich ANDRÁŠ, <sup>3</sup>Ján ŠALIGA

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií  
Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach  
Park Komenského 13, 042 00 Košice, Slovenská republika

<sup>1</sup>marian.vitalis@student.tuke.sk, <sup>2</sup>imrich.andras@tuke.sk, <sup>3</sup>jan.saliga@tuke.sk

**Abstrakt** — Článok popisuje návrh a realizáciu demonštračného pracoviska využívajúceho komunikačný protokol Modbus. Vytvorené pracovisko je určené pre experimentálnu výučbu problematiky Modbus. Umožňuje sledovania a analýzu protokolu pri prenose Modbus správ prostredníctvom ethernetu a tiež po sériovej linke. Komunikácia nie je samoúčelná ale umožňuje riadenie pohybu dvojosového fotovoltaického panelu s využitím hardvérovej platformy Arduino. Tým je zabezpečená úplná kontrola nad riadením panelu prostredníctvom Modbusu. Natáčaním fotovoltaického panelu sa zvyšuje účinnosť panelu a tým sa stáva systém efektívnejším. Komunikačný a riadiaci softvér v PC bol vytvorený v grafickom programovacom prostredí LabVIEW. Toto riešenie umožňuje jeho jednoduché úpravy priamo počas experimentálnych cvičení.

**Príučové slova**—Arduino, Modbus, RS-485, fotovoltaický panel

## I. ÚVOD

V každej továrni, kde pracujú malé vreckové zariadenia alebo veľké výrobné linky, je potrebné tieto zariadenia riadiť a monitorovať. Za týmto účelom boli navrhnuté rôzne komunikačné protokoly, ktoré nám umožňujú komunikáciu, monitorovanie a riadenie s rôznymi zariadeniami v priemysle alebo v bežnom živote. Cieľom vývoja bolo navrhnúť a vytvoriť demonštračné pracovisko pre protokol Modbus po sériovej linke, zamerať sa na prenos správ sériovou linkou a vytvoriť pracovisko pre potreby výučby študentov.

Prvá časť článku uvádza teoretické východiská týkajúce sa protokolu Modbus. Súčasťou tejto časti je aj analýza Modbus správ. Ďalej sa článok venuje návrhu pracoviska pre prenos Modbus TCP správ medzi dvoma počítačami prostredníctvom ethernetu. Programové prostriedky sú vytvorené v programovacom prostredí LabVIEW. Posledná časť článku je venovaná návrhu a realizácii demonštračného pracoviska pre protokol Modbus po sériovej linke. Demonštračné pracovisko je prispôbené pre potreby výučby pre študentov a realizuje riadenie pohybu fotovoltaického panelu. Využitím programovacieho prostredia LabVIEW a protokolu Modbus je zabezpečená plná kontrola nad riadením panelu. Prenos správ na realizovanom demonštračnom pracovisku je realizovaný prostredníctvom štandardu RS-485.

## II. PROTOKOL MODBUS

Protokol Modbus je komunikačný protokol aplikačnej vrstvy OSI modelu typu klient server. Klient označovaný ako Modbus Master posiela požiadavky (správy) na server. Server označovaný ako Modbus Slave prijíma správy od klienta a jeho úlohou je spracovať požiadavky klienta. Nikdy nemôže nastať situácia kedy by server začal vysielat' dáta bez prijatia požiadavky klienta. Modbus Slave je v sieti identifikovaný jedinečným 8 bitovým číslom ID. Na jeden Modbus server je možné pripojiť viacero modbus klientov. Protokol Modbus bol navrhnutý v roku 1979 pre použitie s PLC a dodnes má široké využitie najmä v priemysle. Dátový model protokolu Modbus je založený na sade tabuliek. Definované sú štyri základné tabuľky znázornené v Tab. 1. Každá tabuľka má svoj vlastný adresný priestor, prípadne sa môžu prekrývať čiastočne alebo aj úplne.

Tabuľka 1  
 Dátový model protokolu Modbus

Názov tabuľky	Dátová reprezentácia	Prístup
Diskrétné vstupy (Discrete Inputs)	1 bit	Iba čítanie
Cievky (Coils)	1 bit	Čítanie a zápis
Vstupné registre (Input Registers)	16 bit	Iba čítanie
Zachované registre (Holding Registers)	16 bit	Čítanie a zápis

Analýzovaný protokol možno aplikovať na rôzne typy sietí. Naša práca je zameraná na prenos Modbus správ ethernetom (Modbus TCP) a prenos správ sériovou linkou s vysielacím režimom Modbus RTU. Modbus TCP umožňuje prenos správ v rámci internetu alebo v lokálnej ethernet sieti. Modbus TCP správa, ktorá je prenášaná v IP pakete je rozdelená na dve časti:

*MBAP* (MODBUS Application Header),

*PDU* (Protocol Data Unit).

MBAP sa skladá zo štyroch častí: transaction ID, protokol ID, dĺžka správy a unit ID. Transaction ID je 16 bitové ľubovoľné číslo správy, ktoré jednoznačne identifikuje správu, pretože server nemusí spracovať požiadavky v takom poradí v akom boli na server doručené. Protokol ID je stále nastavený na nulu. Dĺžka správy je reprezentovaná 16 bitovým číslom a udáva počet bajtov za týmto blokom. Unit ID je jedinečné číslo servera ktorému je správa určená. Časť správy nazývaná PDU, ktorá je rovnaká ako pri prenose správ sériovou linkou, zahŕňa dve najdôležitejšie časti správy: kód funkcie a dáta. Kód funkcie je 8 bitové číslo, ktoré určuje akú operáciu žiada klient od servera. Kódy funkcií možno rozdeliť do troch skupín: verejné, užívateľsky definované a rezervované kódy. V tejto práci je použitých osem základných verejných kódov funkcií, ktoré sú jasne definované a majú zabezpečenú unikátnosť. Modbus Slave po prijatí požiadavky odpovedá správou s tým istým kódom funkcie, aký bol prijatý v požiadavke.

Tabuľka 2  
 Základné kódy funkcií

Kód funkcie	Funkcia
01	Čítaj viacero cievok (Read multiple Coils)
02	Čítaj diskretné vstupy (Read discrete inputs)
03	Čítaj zachované registre (Read holding registers)
04	Čítaj vstupné registre (Read input registers)
05	Zapiš jednu cievku (Write simple coil)
06	Zapiš jeden register (Write simple register)
15	Zapiš viacero cievok (Write multiple coils)
16	Zapiš viacero registrov (Write multiple registers)

Modbus správy prenášané po sériovej linke sú odlišné od Modbus TCP správ. Hlavný rozdiel je na konci Modbus správy. Pri prenose správ sériovou linkou môže dôjsť k zmene obsahu správy vplyvom šumu a iných rušivých zdrojov, preto sa na koniec Modbus správy pridáva kontrolný súčet, ktorý slúži k detekcii chýb. Kontrolný súčet obsahuje CRC ale LRC kód v závislosti na vysielacom režime.

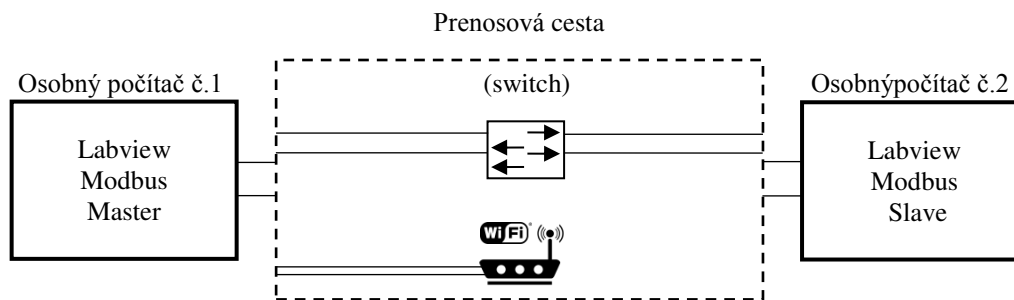
### III. NÁVRH PRACOVISKA PRE MODBUS TCP

Protokol Modbus možno implementovať na rôzne zariadenia, hardvérové platformy, procesory a mikrokontroléry s použitím rôznych programovacích jazykov. Demonštračné pracovisko využíva komunikáciu prostredníctvom protokolu Modbus TCP medzi dvoma počítačami. Na komunikáciu boli použité nasledujúce Modbus funkcie:

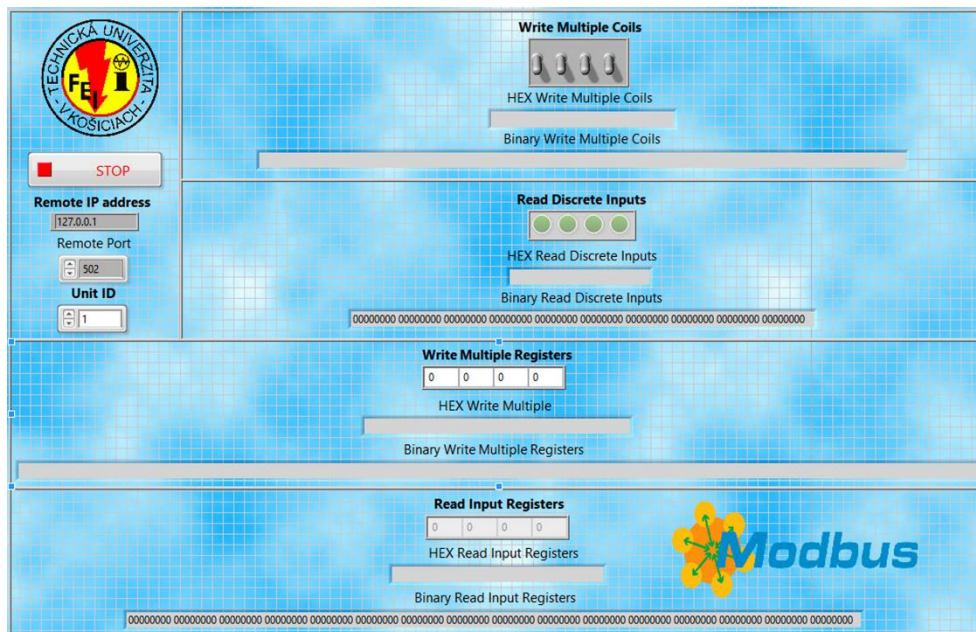
- Write Multiple Coils (0F),
- Read Discrete Inputs (02),
- Write Multiple Registers (10),
- Read Input Register (04).

Prvý blok schémy je osobný počítač č. 1, ktorý reprezentuje Modbus Master vytvorený v grafickom programovacom prostredí Labview. Demonštračné pracovisko je určené pre potreby výučby, preto sú prenášané Modbus správy zobrazované na prednom paneli v hexa

a taktiež v binárnom tvare. Na nasledujúcom obrázku je znázornený predný panel Modbus Mastera v prostredí Labview.



Obr. 1 Bloková schéma komunikácie



Obr. 2 Modbus Master v prostredí Labview

Druhým blokom schémy je prenosová cesta. Prenos správ je nezávislý na prenosovom médiu. Odkúšané bolo prepojenie dvoch počítačov ethernet káblom, bezdrôtovo (wi-fi) a prostredníctvom prevodníkov a RS-485.

Posledným blokom je Modbus Slave vytvorený rovnako v programovacom prostredí Labview. Aby mohlo dôjsť k výmene správ musí byť Modbus server (Slave) spustený ako prvý, až potom môže Modbus Master nadviazať spojenie. Pre lepšie zoznámenie s analyzovaným protokolom boli prenášané správy zachytené sieťovým analyzátorom Wireshark, ktorý dokáže rozpoznať a analyzovať protokol Modbus.

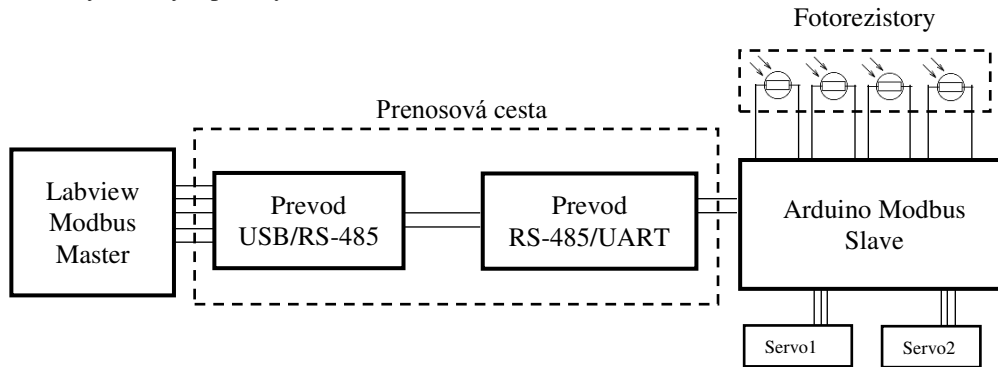
#### IV. REALIZÁCIA RIADENIA FOTOVOLTAICKÉHO PANELU

Riadenie natáčania fotovoltaického panelu podľa intenzity osvetlenia zabezpečujú dva hlavné funkčné celky: osobný počítač vo funkcii Modbus Master RTU a Arduino vo funkcii Modbus Slave RTU. Použitím prevodníkov je zabezpečená výmena Modbus správ po sériovej linke RS-485. Na nasledujúcom obrázku je znázornená jednoduchá bloková schéma riadenia.

Fyzická konštrukcia je vytvorená prevažne z hliníka a plastu. Na podstavci fotovoltaického panelu sú umiestnené vypínače a LED, ktoré budú použité pri riešení úloh na demonstračnom pracovisku. Arduino sa pripája k pinom umiestneným tiež na podstavci panela. Jednotlivé čísla pinov sú vyznačené. Ako náhrada fotovoltaického panelu bola použitá plastová maketa s rozmermi 347mm x 276mm.

Arduino vo funkcii Modbus Slave zabezpečuje budenie motorov a meranie odporu fotorezistorov. Vykonáva príkazy a odpovedá na požiadavky od Modbus Mastera, ale samotné nevykonáva žiadne rozhodovanie ani reguláciu. PC v úlohe Modbus Master periodicky vysiela požiadavku na zmeranie odporu fotorezistorov, ktoré sa obratom vracajú v odpovedi od Arduina. Na základe prijatých hodnôt Master rozhodne, či je potrebné upraviť polohu panelu,

a odošle príkaz na aktiváciu príslušného servomotora. Takýto centralizovaný spôsob riadenia je bežne využívaný v priemysle.



Obr. 3 Bloková schéma riadenia

Master posiela požiadavky na hodnoty šiestich vstupných registrov, pričom využíva Modbus funkciu (04) *Read Input Registers*. Prvé štyri registre určujú napätia na analógových vstupoch, ktoré sú závislé na intenzite osvetlenia fotorezistorov pripojených na Arduino. Ďalšie dva registre určujú aktuálnu polohu servomotorov.



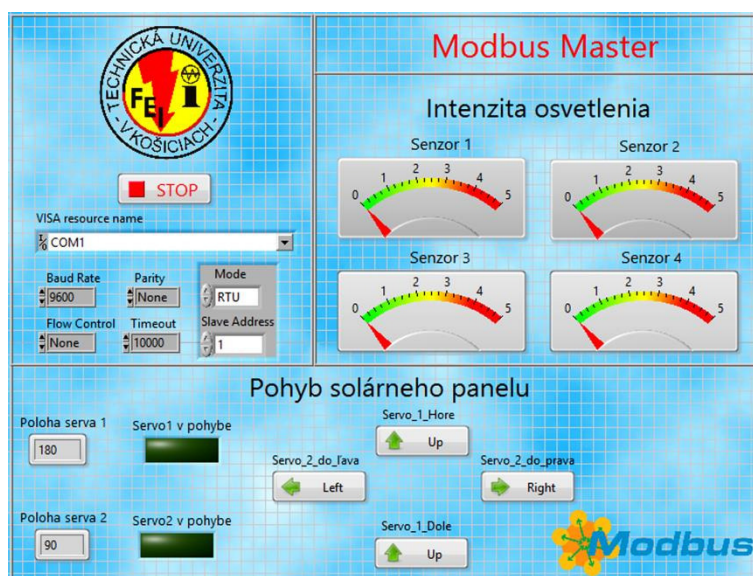
Obr. 4 Fyzická realizácia

Regulácia pohybu panelu je založená na porovnávaní napätí fotorezistorov po pároch – vertikálny a horizontálny pár fotorezistorov. Kvôli stabilite regulácie sú porovnávané hodnoty hrubšie kvantované. PC po porovnaní napätí pošle na server Modbus správu s kódom funkcie 15 (*zapiš viacero cievok*). K riadeniu oboch servomotorov postačujú štyri cievky. Cievky 1 a 3 udávajú smer pohybu jedného, resp. druhého motora, cievky na adrese dva a štyri zapínajú prislúchajúci motor. Predný panel informuje užívateľa o hodnote napätí na jednotlivých fotorezistoroch, o uhle natočenia jednotlivých servomotorov a tiež o aktuálnom smere pohybu.

Pre prenos správ sériovou linkou RS-485 boli použité prevodníky. Sériová linka RS-485 využíva diferenčný napäťový prenos, čo umožňuje komunikáciu až na 1200m. Arduino reprezentuje Modbus server (Slave) s rozhraním UART. Použitá bola voľne dostupná knižnica *ModbusRtu.h*, ktorá poskytuje nasledujúce funkcie protokolu Modbus:

- Read Coils(01),
- Read Discrete Input(02),
- Read Holding Registers(03),
- Read Input Registers (04),
- Write Multiple Coils(0F),
- Write Single Coil(05),
- Write Single Register(06),
- Write Multiple Registers(10).

Tieto funkcie pri realizácii demonstračného pracoviska postačujú. Programové prostriedky boli vytvorené v programovacom prostredí IDE použitím jazyka Wiring.



Obr. 5 Predný panel Modbus klienta

## V. ZÁVER

Cieľom práce [5] bolo navrhnuť a vyhotoviť demonštračné pracovisko pre Modbus protokol pre výučbu. Ako príklad praktického využitia protokolu bolo implementované diaľkové riadenie dvojosového fotovoltaického panelu, ktorý je súčasťou demonštračného pracoviska. Meraním bolo zistené, že ak je panel umiestnený v exteriéri, je potrebné prostredníctvom programových prostriedkov zvýšiť citlivosť fotorezistorov. Softvérové je možné riadenie doplniť o ďalšie funkcie, napr. hľadanie najsilnejšieho zdroja svetla či zápis informácií o intenzite osvetlenia a polohe panelu do textových súborov alebo databázy.

## VI. POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore projektu KEGA 015TUKE-4/2016.

## VII. LITERATÚRA

- [1]. RONEŠOVÁ, A.: *Přehled protokolu MODBUS*. [on-line]. cit.[2017-06-10]. Dostupné na internete: <<http://home.zcu.cz/~ronesova/bastl/files/modbus.pdf>>.
- [2]. MODBUS – IEC Modbus Application Protocol Specification v.1.1b. [online]. December 2006. [cit 2017-06-05]. Dostupné na internete: <[http://www.modbus.org/docs/Modbus\\_Application\\_Protocol\\_V1\\_1b.pdf](http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf)>.
- [3]. Modbus TCP/IP [online]. [cit 2017-06-06]. Dostupné na internete: <http://www.simplymodbus.ca/TCP.htm>
- [4]. TIŠNOVSKÝ, Pavel : Sběrnice RS-422, RS-423 a RS-485. [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné na internete: <<https://www.root.cz/clanky/sberrnice-rs-422-rs-423-a-rs-485/>>.
- [5]. VITALIŠ, Marián: Demonštračné pracovisko pre protocol Modbus, Bakalárska práca FEI TU v Košiciach, 2017



# Creation of AI bricks from existing AI algorithms

<sup>1</sup>Michaela TARHANIČOVÁ, <sup>2</sup>Tomáš CÁDRIK, <sup>3</sup>Marián MACH

Department of Cybernetics and Artificial Intelligence, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>michaela.tarhanicova@student.tuke.sk, <sup>2</sup>tomas.cadrik@tuke.sk,  
<sup>3</sup>marian.mach@tuke.sk

**Abstract** — The paper is focused on the technology of AI bricks, which is an important substance while dealing with complicated problems and tasks of artificial intelligence. The aim of this paper is to describe two AI bricks, one implementing Evolutionary algorithm (to solve optimization tasks) and the other implementing Cartesian genetic programming (to find the way how to transform inputs into outputs). The AI bricks are implemented on MS Azure as SaaS and are available directly from a given URL address with particular parameters or using a dedicated website. The implementations are experimentally compared to localhost implementations and experiment data are presented.

**Keywords** — AI brick, cloud computing, evolutionary algorithm, Cartesian genetic programming

## I. INTRODUCTION

AI bricks are software modules that solve a specific problem since they contain a particular implementation of one method of artificial intelligence. AI bricks can solve tasks like object recognition from an image, classification or clustering. In general, the smaller role of AI bricks, the greater modularity of the system. If individual AI bricks are properly connected, they can be used in finding solutions for complicated problems.

They can be used in the cloud-based robotics. Each AI brick according to [1] must be:

- a service, which can be identified by a URL address, and can be called from any device connected to the Internet network,
- able to solve a task for which it is designed, independently without any outside support,
- able to receive and transmit inputs from other AI bricks in order to work with other AI bricks,
- scalable across multiple virtual servers in cloud environments.

It follows that any AI brick should be a single cloud-based service that can work and carry out its tasks independently from other bricks. But it could also be able to cooperate with other AI bricks either by synchronization of output data, or just through the standardization of outputs.

## II. AI BRICKS

There were only a few papers published about AI bricks. AI bricks were for the first time mentioned in [2], where the text also described what the AI brick is as well as the principles of using this kind of cloud services as a stand-alone service and also as a part of a bigger system. Some standards which can be used when creating an AI brick are presented in [3].

Particular AI bricks were also created and described in multiple papers. AI bricks which are using SIFT and SURF methods for finding descriptors describing an image are presented in [2]. Those AI bricks were built as Microsoft Azure cloud services. The user was able to use the website for uploading input data in the queue, initiate the background algorithm, and obtain calculated results. In [4] another AI brick was presented. It was built on the membership function ARTMAP. In that paper were also described experiments, where the inputs were descriptors created by the previously mentioned AI brick.

Another AI brick implementation was shown in [5]. This cloud service consisted of the NARA neuro-fuzzy system. Two methods (Kohonen network and multilayer perceptron) were

implemented as two different AI bricks which can be used separately or as a whole NARA system. The communication was done using the WEBAPI technology.

### III. IMPLEMENTATION OF TWO AI BRICKS

The aim of the presented work was to create two AI bricks, one based on the evolutionary algorithm (EA) and the other on the logic of Cartesian genetic programming (CGP). The platform on which the AI bricks were implemented is Microsoft Azure and among its possibilities cloud services and storage are used.

The created AI bricks are programmed in the C# language and as a programming environment Visual Studio 2015 was used. The program uses two roles: *a web role* as a website from which it is possible to call the algorithm with different parameters and display the results, and *a worker role*, serving as a real AI brick.

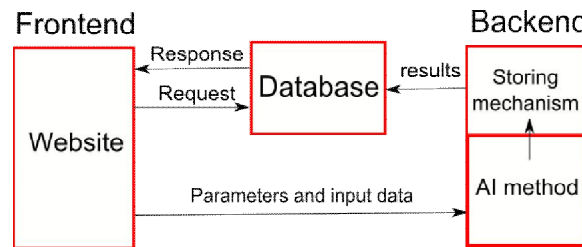


Fig. 1 Architecture of the AI Brick.

The AI bricks are designed according to the basic architecture in Fig. 1. As it can be seen, the backend communicates with the frontend using the storage elements.

#### A. EA as a service

For the needs of our work a library in C# was used. The processing of AI brick was designed by different options. The first step was to establish the EA calculation, which after entering parameters into the system (parameters as fitness function, number of individuals, number of offspring, length of the chromosome, number of parents, mutation probability, etc.) calculates the outputs.

The result of the EA can be very variable and depends on parameters. It was desirable to allow user to specify a custom fitness function – that means not to choose some function from a predefined default list. As the form of a fitness function is quite difficult to register directly in a mathematical notation form, sending it as a transcript was not an option.

The first idea for the creation of fitness function as cloud service was to create separate cloud service for the function. Input parameters to service were population individuals and output values from the service were the values of fitness function. This solution might be sufficient, but on deeper examination, a problem of long data transfer encounters. One individual evaluation takes about one second (time estimate results from the experiments). If the algorithm consists of hundred cycles, then finding optimal solution by the algorithm spends over an hour. This delay is undesirable, so this option was unsatisfactory.

A more viable alternative is to use Azure Storage, and more specifically a table as NoSQL database. It is possible and safe, thanks to a connection string that is identical to both services. For the implementation of this solution, AI brick outputs are on table rows. A new table row is created in the web API, where such data are recorded as a fitness function or solution of the problem.

#### B. CGP as a service

The second algorithm which has been implemented as AI brick is CGP. The cloud service is based on the same principle as the previous one – we used Azure storage as well.

A website was created, by which the CGP can be called and the results can be seen. But there is also possible to update a new test file and to calculate outputs via entering inputs into the system.

The parameters that are necessary to be defined are related not only to the representation of individuals such as population size or some new individuals, but also to the representation of data as inputs and outputs, and last but not least to the list of features of distribution nodes and nodes in layers in individuals. Functionality nodes have to be encoded into a single string.

#### IV. EXPERIMENTS

The created cloud services for EA and CGP were used for the experiments [6], which were intended to test the speed of calculation performed by algorithms in a variety of complex structures in Microsoft Azure and compared to the usage of a local computer.

##### A. Experiment by chromosome length in EA

The first experiment was aimed at testing speed of the calculation of EA algorithm using different chromosome lengths like 2, 10 and 50. The detected time was measured separately for localhost and for Microsoft Azure.

As fitness function was selected the Ackley Function that allows to use more variables, not just two (i.e., it was possible to use different chromosome lengths representing the used variables). Population size was set to 100 individuals in each generation cycle. In every cycle there were created 20 new individuals. Mutation probability was set to 0.05. The evolutionary algorithm stopped after 100 evolutionary cycles.

To ensure the most accurate results time, we measured time in three points of the program run. The first value was recorded as the time of calling services (starting point). The second time value was recorded as the time of finding a solution, and the third value represented the moment after the program made necessary processing of the results for them to be presented to users. Two time intervals (measured in milliseconds) were subsequently calculated – time for finding solutions and time for the whole processing.

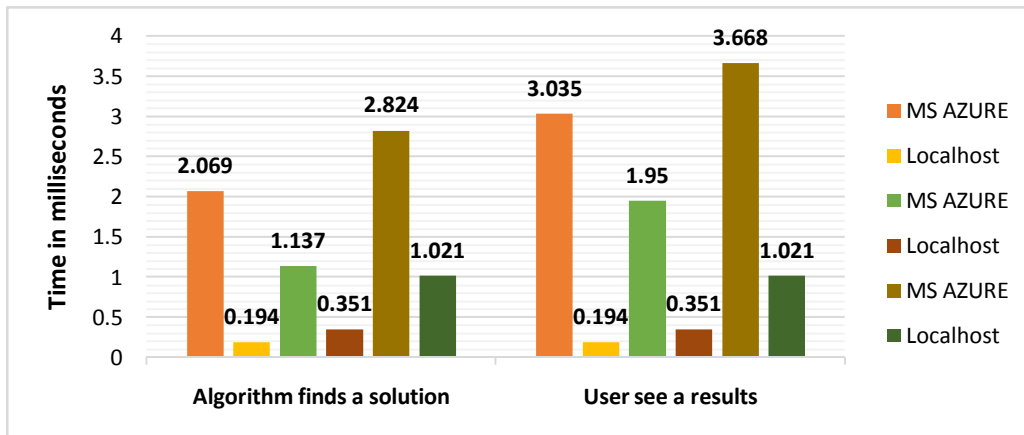


Fig. 2 Time to calculate Evolutionary Algorithm in MS Azure and localhost.

Fig. 2 shows the time consuming calculation of EA with different lengths of the chromosome in the MS Azure and the local computer. Local computer times for “Finding a solution” and “Processing until seeing results” are the same because localhost does not use a website to present results, so time for post-processing of a solution was not considered in this case.

To calculate outputs takes longer in Azure than on localhost, but this difference is just around millisecond which is not a bad result. This difference could be reduced by changing a virtual service to more efficient virtual machine or making program particular parts to run in parallel. Moreover, the use of services on Azure brings benefits such as unlocking from a private local computer application.

##### B. Experiment by complexity of node structures in CGP

The second experiment was aimed at testing speed of calculation of CGP by different node structures: two nodes (two nodes in one layer), four nodes (two nodes in two layers), and six nodes (three nodes in two layers). As in the previous experiment, time was measured separately for localhost and Microsoft Azure.

Parameters such as population size, the number of new individuals, or the number of individuals participating in the tournament were set as in the previous experiment. The number of generation cycles was set to fifty. When the algorithm worked just with two nodes (2x1 structure), the addition and subtraction nodes were used. When the four nodes of the structure 2x2 were considered, this structure contained the addition node, multiplication node, addition node again, and subtraction node. Within six node structure of 3x2 nodes there were addition and subtraction nodes.

Similarly to the previous experiment, time was measured in three points. The first value was

recorded as the time of calling services (starting point). The second time value was recorded as the time of finding a solution and the third value represented the time when results are available to user.

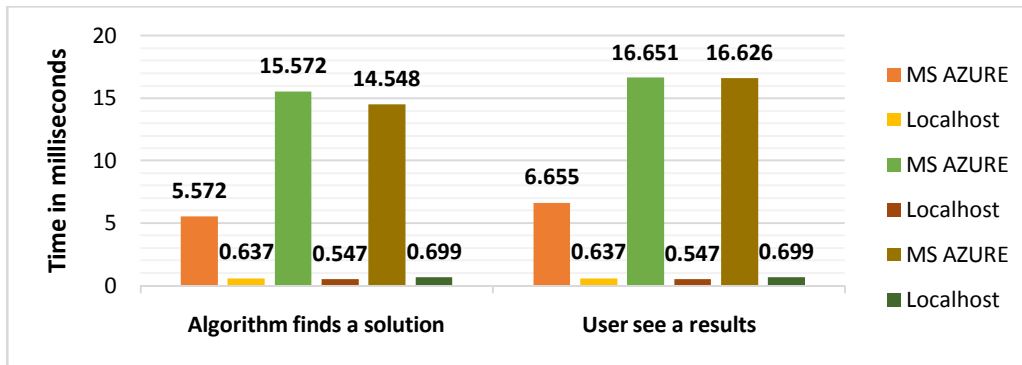


Fig. 3 Time to calculate Cartesian Genetic Programming in MS Azure and localhost.

The overview of particular time values is in Fig. 3. It is possible to see different time values in MS Azure and localhost measurements as well as for different node structures. Local computer times for “Finding a solution” and “Processing until seeing results” are the same because localhost does not use a website, so time for post-processing of a solution was not considered.

To calculate outputs in MS Azure takes several times longer than on localhost, which is not a very good result. This difference could be reduced by changing a virtual service to more efficient virtual machine or making programs’ particular parts run parallel or by modifying the code.

## V. CONCLUSION

This paper deals with AI bricks technology, which could be the cornerstone in solving complex problems of artificial intelligence. The goal of this work was to create two separate AI bricks, one of the existing implementation of Evolutionary Algorithms and one of Cartesian Genetic Programming.

A part of our work was experimental dedicated to experiments on the created AI bricks, where we measured values achieved while using a local computer in comparison to the measured on data services implemented on MS Azure. We have proved that the created AI bricks can serve to goal to which they were created.

## ACKNOWLEDGMENT

This publication arose thanks to the support of the Operational Programme Research and development for the project “Centre of Information and Communication Technologies for Knowledge Systems” (ITMS code 26220120020), co-financed by the European Regional Development Fund.

## REFERENCES

- [1] T. Cádrik, J. Ondo, M. Mach and P. Sinčák, “Basic Architecture of Cloud Environment Supporting Multi-robot systems,” (in Slovak), *ATP Journal*, vol. 22, no. 2, pp. 39–41, 2015.
- [2] D. Lorenčík, “Cloud-based object recognition”, in Proc. of the 14th Scientific Conference of Young Researchers SCYR, 2014, Herľany, Slovakia, 2014, pp. 164-165.
- [3] J. Ondo, “Cloud-based classification using an adaptive resonance theory neural networks”, Dissertation Thesis, Technical University of Košice, 2016.
- [4] J. Ondo, P. Sabol, P. Sinčák and P. Hartono, “A Review of MF-ARTMAM toward an improvement classification accuracy using simulated annealing”, in *SMC 2016*, Danvers, IEEE, pp. 2038-2043.
- [5] D. Lorenčík, J. Ondo, P. Sinčák and H. Wagatsuma, “Cloud-Based Image Recognition for Robots“, in *Advances in Intelligence Systems and Computing*, Springer, vol. 345, ISSN: 2194-5357, 2015.
- [6] M. Tarhaničová, “Creating AI bricks from existing AI algorithms”, Bachelor Thesis, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical university of Kosice, 2017, 84 pages.

# Implementing selected DLMS protocol objects for Antik eMeter product

<sup>1</sup>Matej KURINEC, <sup>2</sup>Roman VÁPENÍK, <sup>3</sup>Peter FECILAK

<sup>1,2,3</sup> Department of Computers and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>matej.kurinec@student.tuke.sk, <sup>2</sup>roman.vapenik@tuke.sk, <sup>3</sup>peter.fecilak@tuke.sk

**Abstract** — Research presented in this paper deals with the issue of the DLMS communication protocol used for the data transfer between devices used for electricity measuring. The first part of the paper is focused on approaching the DLMS communication protocol and its objects and presenting the principle of reading energy using Antik eMeter device. In the next part, a way of exchanging data between Antik eMeter and the server using this protocol is designed. The way of processing the received data is implemented and the proposed communication protocol was implemented into the system for processing and graphical representation of the consumed electricity.

**Keywords** — Communication protocol, DLMS, electrical energy, frame.

## I. INTRODUCTION

Communication protocols form the main part of the Internet infrastructure as they are intended for the transport of messages between devices. There is a lot of communication protocols, whether standardized or project-oriented, intended different types of data transfer, depending on the device, the transmission medium, the Safety, or speed. In this work, three DLMS protocol objects are implemented, used for data transfer between devices for remote electricity reading. This type of communication will be client-server based, where the client part is the Antik eMeter device that measures and stores measured electrical energy of a particular to database in periodic 15 minute intervals and the server part represents a user application which based on the user's requirements acquires the necessary data from the client and then draws the curve of the consumed electricity depending on the time of measurement.

The main goal of this paper is implementation of DLMS objects used for data transport between electricity data, that are measured by Antik eMeter product and server part. The first was analysis of possibilities of measuring electrical energy. This step involves details of Antik eMeter protocol, that is used for measuring and transporting data to client device. The second step is analysis of DLMS protocol and its objects, that are used for different energy types. Second part of this paper involves design and implementation of data transfer between client and server part using DLMS protocol. There are used three DLMS objects: object for serial number transfer, object for actual energy transfer and object for block transfer using for large data frames. In the third part, there is designed and implemented user interface for drawing the curve of measured energy depending on the time of measurement.

## II. ANALYTICAL CONSIDERATIONS

Reading household electricity consumption is the first step to find a solution to reduce consumption. Each building or part has its own electrical energy reading device. These measuring devices are often measuring only the total energy that is consumed and they are placed in a location which is not normally visible. For ordinary people, this information is not very useful from the point of view of making detailed statistics that could reduce consumption energy, therefore, various systems have been developed to subtract electricity at any point in the household electrical network and subsequently offer this information in a form useful to the user (e.g., charts).

The main advantage of using read - out, post - processing systems and displaying of the energy consumed is the possibility of monitoring the energy load of the home or its parts and the identification of active devices depending on the anomalies of the measured values. A typical home monitoring system consists of sensors, data collector, gateway to the Internet, and

displaying device. The whole system should run on cloud technologies whose performance can be dynamically expanded according to the number of users [1]. Using these technologies, the customer saves the cost of running the data center [2].

### A. DLMS protocol

The DLMS protocol is a set of rules that has to be followed by individual operators of remote measuring. This protocol enables the integration of electrical meters with systems for the processing of measured data from different manufacturers. COSEM is the interface model of a communicating measuring device that provides a view of its functionality through the communication interface. The DLMS / COSEM specification specifies the data model and communication protocol for data exchange between measuring devices [3].

The main part of this protocol consists of the three steps shown in the Fig. 1.

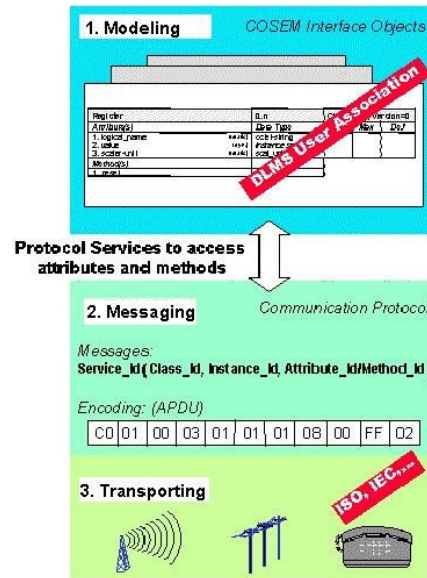


Fig. 1 Steps of the DLMS protocol.

#### Step 1: Modeling

This step includes the meter model data as well as the rules for identifying this data. The data model provides a view of measuring device functionality and its interface status. Model building blocks are used to model this functionality. By systematic approach, the complex functions of a measuring instrument are divided into general building blocks (objects). This model does not include information regarding internal implementation-specification issues.

#### Step 2: Messages

This step includes communications services and protocols for mapping data model elements to APDU.

#### Step 3: Transfer

This step includes protocols using for transport messages over a communication channel [4].

OBIS is the shortcut for object identification. OBIS provides standard identifiers for all data within the metering device. OBIS codes are used to identify COSEM objects as well as to identify data transmitted over communication lines to a data collection system. OBIS uses 6-value groups in a hierarchical structure [5].

The value in Group A defines the medium (0=abstract objects, 1=electricity, 6=heat, 7=gas, 8=water, etc.).

The value in Group B defines the channel. Each device with multiple channels generating measurement results, can separate the results into the channels.

The value in group C defines the physical value (current, voltage, energy level, temperature, etc.).

The value in Group D defines the quantity computation output of specific algorithm.

The value in Group E specifies the measurement type defined by groups A to D into individual measurements (e.g. switching ranges).

The value in Group F separates the results partly defined by groups A to E. The typical usage is the specification of individual time ranges [6].

### B. Antik eMeter device

It is a measuring device designed to read the consumed electrical energy. It consists of a measuring coil that connects around the phase conductor, the transmitter, and the receiver. Measurement of energy consumed is based on the principle of electromagnetic induction, which is dependent on the voltage and current flowing through the conductor. With this device, energy can be subtracted from 1 to 3 phases. The measured data is then transmitted by radio transmission to the receiver where it is processed using its own communication protocol. One server part of this device can have multiple clients. Each client is represented by its own address that is set by user [7].

The communication in this device is not important in this paper.

## III. SIMPLE DLMS OBJECT

DLMS objects are shown in the next section to read the device serial number and read the current active power status.

### A. Get device serial number

This type of request is used to obtain the client's serial number.

The OBIS code for this frame is 0.0.96.1.0.255, class identifier = 1 and attribute = 2.

#### Example of the serial number request

01 00 01 00 01 00 10 00 c0 01 41 00 01 00 00 60 01 00 ff 02 00 92 32 7e

where:

- 01 00 01 00 01 00 is frame fix part,
- color part - DLMS request,
- turquoise part - DLMS message size,
- blue part - class identifier,
- red part - OBIS code,
- yellow part - attribute.

#### Example of the serial number response

01 00 01 00 01 00 0e 00 c4 01 41 00 09 08 31 31 38 32 35 38 33 36

where:

- 01 00 01 00 01 00 is frame fix part,
- color part - DLMS response,
- turquoise part - DLMS message size,
- red part is serial number in ASCII code.  
3131383235383336 ASCII = 11825836 decimals. 11825836 is device serial number.

### B. Get actual energy status

This type of request is used to get the current energy state. This is a requirement for one energy value at the current time. Upon acceptance of the current energy requirement, the measurement is made and the value obtained is sent in response as a hexadecimal value in watts.

The OBIS code for this frame is 1.0.1.8.0.255, class identifier = 3 and attribute = 0.

#### Example of the current energy condition request

01 00 01 00 01 00 0d 00 c0 01 41 00 03 01 00 01 08 00 ff 00 00

where:

- 01 00 01 00 01 00 is frame fix part,
- color part - DLMS request,
- turquoise part - DLMS message size,
- blue part - class identifier,
- red part - OBIS code,
- yellow part - attribute.

#### Example of the current energy condition response

01 00 01 00 01 00 1d 00 c4 01 41 00 02 03 09 06 01 00 01 08 00 ff 15 00 00 00 00 02 7b  
a5 02 02 0f 00 16 1e

where:

- 01 00 01 00 01 00 is frame fix part,
- color part - DLMS request,
- turquoise part - DLMS message size,

- red part is the energy status in hexadecimal format.  
0000027ba5 hex = 162725 dec  
Energy is  $162725 \cdot 10^{-3}$  kWh = 162; 725kWh.

### C. Block transfer

In this type of frame transmission, it is a breakdown of large-volume data into smaller blocks, which are then sent sequentially and, on the other side, re-folded to the original size. Block transfer is used if the data size is more than 500B. All blocks are numbered. Based on this numbering, the frame is placed in the correct order. Block numbering also serves to ensure that all messages are received. If the message is unsuccessful, the receiving party will only resend a given block, thereby avoiding the redundant sending of frames that have been sent smoothly and does not burden the network unnecessarily.

Block transfer is mainly used in requests for obtaining energy information at a certain time interval. This interval has a maximum size of 24h in the back. The data request is only possible from the moment when the latest data was received. If a situation occurs when a user requests data that already contains a target database, this request changes and the interval start is set to the last time value.

Working with the received frame is possible only after receiving all the partial messages, the data parts of must be merged into one and then divided into individual blocks.

1) *Time interval data request:* These types of requirements have two different forms. The first form represents the initial requirement that includes both the start and end times of the requested interval. Interval boundaries consist of date and time. Upon accepting this request, the status of the process is set to send block messages and remains in this state until all the necessary blocks are sent.

Upon receipt of the data block, it is determined whether the received block is the last one. This information is in one beating and is represented by two values. The value 00 represents the state in which the last block was not received and the transmission continues, the value 01 indicates the receipt of the last block and the end of the block transfer.

The second option is to send the next frame if the received frame is not marked as last. Once the frame is received, the data is checked to see if they are okay. If the frame is damaged, the request for the next block is not sent, but a re-sending of the damaged block is required. Sending the same block is done even if the block has not been received at any given time. If the received data is not corrupted and the frame is complete, the data portion is stored in the memory. This process is repeated until all the necessary blocks are received. These frames no longer have a time interval but only the number of the requested block. Once the last block is received, it is possible to process the received data.

#### Example of the block request

```
01 00 01 00 01 00 3e 00 c0 01 48 00 07 01 00 63 01 00 ff 02 ff 01 02 04 02 04 12 00 08 09  
06 00 00 01 00 00 ff 0f 02 12 00 00 19 07 e0 05 1d ff 00 00 00 ff 00 3c 00 19 07 e0 05 1d ff  
0b 3b 00 ff 00 3c 00 01 00
```

where:

- 01 00 01 00 01 00 is frame fix part,
- clour part - DLMS request,
- blue part - class identifier,
- red part - OBIS code,
- yellow part - attribute,
- turquoise part -time interval borders.

2) *Time interval data response:* Upon receipt of the server data block request, the client retrieves the data at a given interval from the database. Subsequently, the frame portion of the frame is stacked and its size is calculated. The size of one block can be up to 500B. Using these two values, a possible number of data frames can be found that can be sent in one block. Subsequently, information about the block number is added to the data, whether it is the last block and the header.



### Example of the block response

01 00 01 00 01 00 6f 00 c4 02 48 00 00 00 00 01 00 65 01 30 02 08 09 0c 07 e0 05 1d 07 01 00  
00 00 00 78 80 11 01 15 00 00 00 00 00 01 16 9f 15 00 00 00 00 00 00 11 7f 15 00 00 00 00 00  
01 48 41 15 00 00 00 00 00 00 07 6d 15 00 00 00 00 00 1d 45 15 00 00 00 00 00 00 07 36 02  
08 09 0c 07 e0 05 1d 07 01 0f 00 00 00 78 80 11 01 15 00 00 00 00 00 01 16 a5

where:

- 01 00 01 00 01 00 is frame fix part,
- clour part - DLMS request,
- turquoise part - last block identifier,
- blue part - block number,
- red part - identifier block,
- black part - RAW data.

## IV. SERVER PART OF THE SYSTEM

In this part of the system, the user has the ability to visualize the measured data in the selected time interval. Visualization is performed from server database data. The client database stores all read data at periodic intervals. The server database contains only the data requested by the client. Data is not removed from the database, although it is no longer necessary. The storage of excess data is due to the possibility of a re-use of such data without the need for redundant transfer by the client.

The user request determines whether all the data from the specified interval is in the database. If the content of the database is incomplete, for example, it only contains the first half of the data from the interval, it is necessary to request the missing part from the client. At this point, block transfer is used, since in most cases there is a large amount of data. Once the database has been filled with missing data, it can be processed and used in graphical visualization.

In addition, a graphical interface for demonstrating block transfer was created to demonstrate the functionality of the communication protocol using a visual page without the need to compare and examine the received message frames. This program renders the energy curve at the specified time interval.

For the simplicity, the user has no option to work with the data received. It is only possible to see the energy consumption curve within the desired time interval. A preview of this program is on the following Fig. 2. In this figure is shown the alternate turning on and off the 70W bulb.

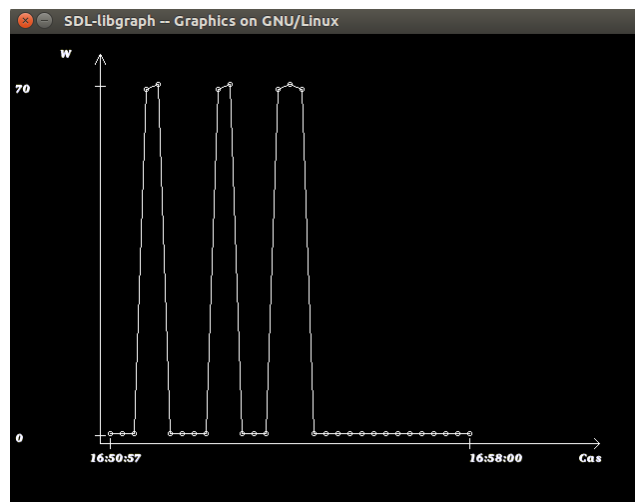


Fig. 1 Steps of the DLMS protocol.

## V. CONCLUSION

The goal of the research was to analyze the current state of the problem of reading energy information from digital electrometers, to analyze the selected DLMS protocol objects and subsequently to implement them in connection with exchange of data with Antik eMeter and TCP / IP DLMS. In this research, three objects of this protocol were discussed. The first object is used to obtain the serial number of the measuring device, the second object is used to obtain the current state of active energy, and the third object serves to send a large amount of data by

means of a block transfer.

#### ACKNOWLEDGMENT

This publication is the result of the Project implementation: University Science Park TECHNICOM for Innovation Applications Supported by Knowledge Technology, Phase II., ITMS: 313011D232, supported by the Research & Innovation Operational Programme funded by the ERDF. We support research activities in Slovakia/This project is being co-financed by the European Union.

#### REFERENCES

- [1] Nick Antonopoulos, Lee Gillam. 2010 Cloud computing. Principles, Systems and Applications. ISBN 978-1-84996-240-7 e-ISBN 978-1-84996-241-4
- [2] Kai Hwang Geoffrey C. Fox, Jack J. Dongarra. 2012. Distributed and Cloud Computing From Parallel Processing to the Internet of Things. ISBN 978-0-12-385880-1
- [3] Gyozo Kmethy, DLMS UA, President. 2014. IEC 62056 DLMS/COSEM works- hop.
- [4] DLMS User Association. 2014. COSEM interface classes and OBIS identifica- tion system.
- [5] OBIS NAMES, WHAT ARE THEY?. Available from:  
<http://www.dlms.com/faqanswers/questionsonthedlmscosem specification/ obisnameswhatarethey.php>
- [6] LIST OF STANDARD OBIS CODES AND COSEM OBJECTS. Available from:  
<http://www.dlms.com/documentation/listofstandardobiscodesandmaintenanceproces/ index.html>
- [7] Antink technology. 2014. e-HOME USB dongle. Description of communication protocol.

# Experimentálny pulzoximeter

*Peter DZIVÁK, Pavol DOLINSKÝ, Linus MICHAELI*

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

peter.dzivak@student.tuke.sk, pavol.dolinsky@tuke.sk, linus.michaeli@tuke.sk

**Abstrakt** — Tento článok popisuje návrh pulzoximetra založeného na optických snímačoch, ktorý sa bude používať v rámci cvičení z predmetu „Lekárska elektronika“. Princípom tejto metódy je meranie zmien intenzity svetla spôsobených zmenami objemu krvi v periférnych zariadeniach. Senzor Easy Pulse s meracou kartou od National Instruments sa používa na meranie a zaznamenávanie signálu do počítača.

**Kľúčové slová** — saturácia krvi kyslíkom, srdcová frekvencia, fotopletyzograf, pulzoximeter, LabVIEW

## I. ÚVOD

Meracia metóda, ktorú využíva pulzoximeter sa nazýva fotopletyzografia (PPG) a spočíva v použití optického senzora umiestneného na dobre prekrvené časti tela akými sú napríklad končeky prstov alebo ušné laloky. Optický senzor pozostáva z červenej a infračervenej LED, ktoré slúžia ako vysielateľ a z fotodetektora (fotodióda alebo fototranzistor), ktorý zachytáva svetlo z LED. Svetlo emitované LED diódou prechádza kožou, tkanivami a krvou pričom je nimi čiastočne pohltené, čiastočne rozptýlené a časť sa odráža aj naspäť.

Podľa toho, ktorú časť svetla senzor meria, delíme senzory na reflexné (odrazené svetlo) a transmisívne (prenesené svetlo). Tvar a veľkosť senzora závisí od toho, na ktorú časť ľudského tela sa senzor aplikuje. U pacientov to býva najčastejšie prst, ušný lalok, prípadne chodidlo u novorodencov. Výhodou použitia optických senzorov v medicíne je ich bezpečnosť, pretože neexistuje žiadne elektrické spojenie medzi pacientom a meracím zariadením. Zároveň sú menej náchylné k rušeniu elektromagnetickým žiarením [1].

## II. PRINCÍP PULZOXIMETRA

### A. Srdcová frekvencia a jej vplyv na meraný signál

Pri použití transmisívneho optického senzora LED dióda presvecuje koniec prsta a fotodetektor na opačnej strane oproti LED zachytáva zmeny v intenzite dopadajúceho svetla. Časť svetla, ktoré prechádza prstom je absorbovaná alebo rozptýlená kožou, svalmi, kosťami a krvou. Keďže objem svalov a tkanív sa nemení, množstvo svetla, ktoré tieto časti pohltia je konštantné. Intenzita svetla, ktoré dopadá na fotodetektor po prechode cez nepulzujúce tkanivá sa nemení a v PPG signáli vytvárajú jednosmernú zložku. Pri kontrakciách srdca dochádza k pumpovaniu krvi do krvného obehu, čím sa mení objem krvi v tepnách. Počas systoly je krv vypudená do krvného obehu a tento zväčšený objem znižuje intenzitu svetla, ktoré dopadne na fotodetektor. Naopak, počas diastoly sa objem krvi v tepnách zníži a množstvo svetla dopadajúceho na fotodetektor je najväčšie. Srdcový cyklus takto spôsobuje zmeny v intenzite svetla, ktoré dosiahne fotodetektor. Pulzujúca zmena objemu krvi v signáli vytvára striedavú zložku, ktorej frekvencia korešponduje so srdcovou frekvenciou [1], [2].

### B. Vplyv okysličenia krvi kyslíkom na meraný signál

Saturácia krvi kyslíkom ( $SaO_2$ ) sa udáva ako percento molekúl hemoglobínu v arteriálnej krvi, ktoré sú saturované kyslíkom a je definovaná vzťahom:

$$SaO_2 = \frac{HbO_2}{Hb + HbO_2} \cdot 100 (\%) \quad (1)$$

Saturácia krvi kyslíkom je udávaná v percentách a vyjadruje množstvo okysličeného hemoglobínu ( $HbO_2$ ) k celkovému (okysličenému a neokysličenému). Normálna hodnota

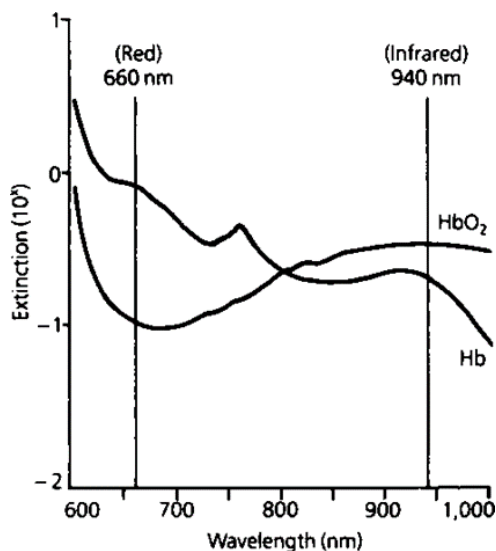
saturácie je u človeka okolo 97%. Ak hodnota klesne pod 80%, dochádza k hypoxii – nedostatku kyslíka. Pri hodnote pod 80% je negatívne ovplyvnená funkčnosť orgánov ako mozog a srdce [1], [2], [3].

Meranie množstva kyslíka v krvi je založené na dvoch fyzikálnych princípoch:

- Okysličený a neokysličený hemoglobín majú rozdielne absorpčné spektrá, to znamená, že rozdielne pohlcujú svetlo
- Pulzujúca krv v tepnách vytvára v PPG signáli striedavú zložku, čím je možné oddeliť absorpčný efekt arteriálnej krvi od nepulzujúcej krvi v žilách a iných tkanivách

### C. Senzor

Oximetre používajú 2 LED diódy, ktoré emitujú svetlo na rozdielnych vlnových dĺžkach. Používajú sa vlnové dĺžky 660nm (červená) a 940nm (blízka infračervená). Experimentálne bolo zistené, že na týchto vlnových dĺžkach sa absorpčné spektrá okysličeného a neokysličeného hemoglobínu najviac líšia. Okysličený hemoglobín viac absorbuje červené svetlo a prepúšťa infračervené, zatiaľ čo neokysličený hemoglobín naopak, absorbuje viac infračerveného svetla ako červeného. V závislosti na množstve okysličeného a neokysličeného hemoglobínu sa pomer pohltenej červenej a infračervenej svetla mení. Pulzoximeter vypočíta saturáciu kyslíkom porovnaním koľko červenej a koľko infračervenej svetla bolo pohltenej krvou.



Obr. 1 Absorpčné spektrá okysličeného a neokysličeného hemoglobínu [4]

Výsledný signál, ktorý zachytí fotodetektor je kombináciou striedavej zložky spôsobenej pulzujúcim objemom arteriálnej krvi a jednosmernej zložky spôsobenej ostatnými tkanivami. Oximeter extrahuje striedavú zložku z celkového signálu, ktorá korešponduje s pulzujúcou arteriálnou krvou a vypočíta absorpčný pomer zo vzťahu [5]:

$$R = \frac{\frac{AC_{660}}{DC_{660}}}{\frac{AC_{940}}{DC_{940}}} \quad (2)$$

Kde:

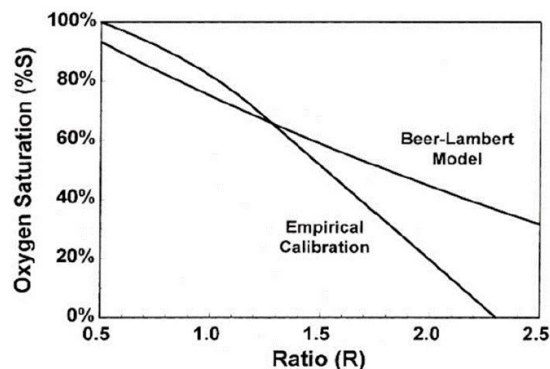
$AC_{660}$  - efektívna hodnota striedavej zložky signálu na vlnovej dĺžke 660nm

$DC_{660}$  - hodnota jednosmernej zložky signálu na vlnovej dĺžke 660nm

$AC_{940}$  - efektívna hodnota striedavej zložky signálu na vlnovej dĺžke 940nm

$DC_{940}$  - hodnota jednosmernej zložky signálu na vlnovej dĺžke 940nm

K hodnote absorpčného pomeru je ešte nutné priradiť percento saturácie krvi kyslíkom. K tomuto účelu sa využíva kalibrácia. Oximeter je pripojený k dobrovoľníkovi a je požiadany aby spomaľoval dýchanie, pričom sú mu v určitých intervaloch odoberané vzorky arteriálnej krvi. Ako sa dobrovoľníková krv odkysličuje, priame merania na vzorkách arteriálnej krvi sú simultánne porovnávané s hodnotami absorpčného pomeru nameraného pulzoximetrom. Týmto spôsobom je vytvorený korekčný kalibračný graf opisujúci závislosť  $SpO_2$  od absorpčného pomeru.



Obr. 2 kalibračný graf opisujúci závislosť  $SpO_2$  od absorpčného pomeru. Krivka pre Beer-Lambertov model predstavuje teoretickú závislosť, druhá krivka je reálna závislosť na základe kalibrácie na dobrovoľníkoch [6]

### III. MERACIE PRACOVISKO

Hlavnou požiadavkou pri návrhu meracieho pracoviska je možnosť záznamu meraného signálu do počítača umožňujúceho jeho spracovanie vo vývojovom prostredí LabVIEW. K tomuto účelu bola použitá LabVIEW kompatibilná meracia karta od National Instruments NI USB-6009 a na meranie signálu bola zakúpená sada Easy Pulse tvorená transmisívnym senzorom na prst a doskou so zosilňovačom.



Obr. 3 doska Easy Pulse

#### A. Meranie srdcovej frekvencie

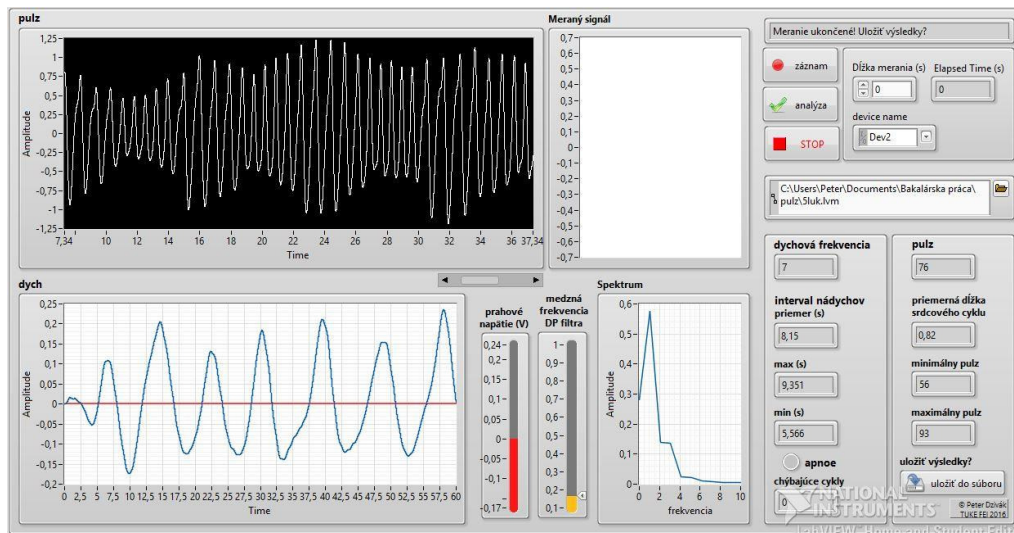
Na meranie srdcovej frekvencie bola použitá sada Easy Pulse obsahujúca transmisívny optický senzor s jednou červenou LED a dosku s obvodom na predspracovanie signálu.

Analógový signál so senzora najprv vstupuje na dosku Easy Pulse, kde je filtrovaný hornopriepustným filtrom s medznou frekvenciou 0,5Hz na odstránenie DC zložky. V ďalšom stupni je signál zosilnený so ziskom 48 a filtrovaný DP filtrom s medznou frekvenciou 3,4Hz. Analógový výstup zosilňovača je pripojený k analógovému vstupu meracej karty NI USB-6009, ktorou je realizovaná digitalizácia signálu vzorkovacou frekvenciou 1000Hz.

Zdigitalizovaný signál je spracovaný v PC v prostredí LabVIEW. Zosilnený PPG signál s odstránenou DC zložkou má priebeh podobný sínusu a jeho perióda sleduje periódu úderov srdca. Pomocou špičkového detektora je signál rozdelený na periódny, na ktoré je aplikovaná Fourierova transformácia. Vo frekvenčnej oblasti je nájdená frekvenčná zložka s najvyššou amplitúdou predstavujúca okamžitú srdcovú frekvenciu. V programe je zobrazená minimálna a maximálna hodnota pulzu ako aj priemerná hodnota z celého meraného signálu.

Program tiež zisťuje dychovú frekvenciu meraného subjektu. Dýchanie ovplyvňuje rýchlosť pumpovania krvi do krvného obehu, čo sa prejavuje malými zmenami v jej objeme, ktoré môžeme merať optickým senzorom. Pretože dychová frekvencia je oveľa nižšia ako srdcová (15 nádycho/min resp. 80 úderov/min) môžeme ju získať dolnopriepustnou filtráciou s medznou frekvenciou 0,5Hz čím odstránime nosnú srdcovú frekvenciu a ostane nám modulačný signál s frekvenciou zodpovedajúcou počtu nádychov za minútu resp. sekundu [7].

Predný panel programu obsahuje grafy pre zobrazenie priebehu PPG signálu v čase ako aj vo frekvenčnej oblasti a ďalší pre zobrazenie modulačnej dychovej zložky. Napravo sa nachádzajú indikátory na zobrazenie vypočítaných parametrov. Program tiež obsahuje možnosť uloženia výsledkov do textového súboru.



Obr. 4 predný panel programu

### B. Meranie saturácie krvi kyslíkom

Nevýhodou sady Easy Pulse je absencia infračervenej LED v senzore, kvôli čomu ním nie je možné merať saturáciu krvi kyslíkom. Z toho dôvodu bude meracie pracovisko doplnené novým senzorom MAX30100.

MAX30100 je integrovaný senzor na meranie saturácie krvi kyslíkom a srdcovej frekvencie. Obsahuje 2 LED na požadovaných vlnových dĺžkach, fotodetektor a ďalšie obvody pre predspracovanie signálu. Pracuje v rozsahu napájacích napätí 1,8 až 3,3V a vďaka nízkemu prúdovému odboru v nečinnosti môže byť vždy pripojený na napájanie, čím je vhodný pre nositeľné zariadenia napájané z batérie. Tento senzor nevykonáva samotné spracovanie signálu (teda výpočet srdcovej frekvencie a saturácie krvi kyslíkom), obsahuje však veľmi užitočné funkcie ako automatické prepínanie medzi červenou a infračervenou LED, regulácia jasu LED pomocou PWM a digitálny filter na odstránenie 50/60Hz zložky zo signálu. Pred spustením merania je nutná konfigurácia senzora pomocou registrov, samotné namerané dáta sú ukladané do zásobníka FIFO, ktorého obsah je pre užívateľa prístupný prostredníctvom I<sup>2</sup>C zbernice [8].

Zdigitalizovaný signál môže byť z I<sup>2</sup>C zbernice čítaný pomocou meracej karty s I<sup>2</sup>C rozhraním, prípadne pomocou vývojovej dosky Arduino, ktorá bude realizovať prevod z I<sup>2</sup>C na USB. V PC bude signál spracovaný v LabVIEW podľa vyššie opísaného algoritmu.

## IV. ZÁVER

Zhotovený bol funkčný experimentálny pulzoximeter a navrhnutý algoritmus na výpočet srdcovej frekvencie zo signálu snímaného optickým senzorom pomocou rýchlej Fourierovej transformácie ako aj metóda zisťovania dychovej frekvencie z tohto signálu. Ďalším krokom bude rozšírenie pracoviska o meranie saturácie krvi kyslíkom s využitím integrovaného senzora MAX30100.

## POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore projektu KEGA 015TUKE-4/2016.

## POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] Esrat Jahan, Tilotoma Barua, Umme Salma: An overview on heart rate monitoring and pulse oximeter system, International Journal of Latest Research in Science and Technology, Volume 3, Issue 5, September-October 2014, Page No 148-152., ISSN: 2278-5299
- [2] WEBSTER, J., G., Design of Pulse Oximeters, Taylor&Francis Group 1997
- [3] Sangeeta Bagha, A Real Time Analysis of PPG Signal for Measurement of SpO<sub>2</sub> and Pulse Rate, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), December 2011, Volume 36, No.11.
- [4] McCough EK, Boysen PG. Benefits and limitations of pulse oximetry in the ICU. J Crit Illness 1989; 4:23-31
- [5] M. Schnapp, M.D.; Neal H. Cohen, M.D.: Pulse Oximetry. Uses and Abuses, Chest. 1990 Nov;98(5):1244-50
- [6] Vincent Chan, Steve Underwood: A Single-Chip Pulsoximeter Design Using the MSP430, (online) <http://www.ti.com/lit/an/slaa274b/slaa274b.pdf>
- [7] Brecher, G.A., Hubay, C.A: Pulmonary Blood Flow and Venous Return During Spontaneous Respiration, Am. J. Physiol., 1954, 111, 210.
- [8] MAX 30100, Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor IC for Wearable Health datasheet, dostupné online: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX30100.pdf>

# Design, Prototyping and Implementation of Information System with Knowledge Layer

*Patrik FIGURA, Zdeněk HAVLICE*

Department of Computers and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>patrik.figura@student.tuke.sk, <sup>2</sup>zdenek.havlice@tuke.sk

**Abstract** – This article is about "GeKnow" plug-in implemented for BridgePoint IDE (Integrated Development Environment). Plug-in's main function is to extract system knowledge from its (system) critical models, defined by using BridgePoint and its xtUML (Executable Translatable Unified Modeling Language). Article deals with principles of Model Driven Architecture and its use for building a software system. To achieve the goal, we choose the BridgePoint environment, which supports designing and implementation of the system regarding principles of MDA. Article is pointing to extracting knowledge from models of system prototype. Extracted knowledge is presented to the user as HTML (HyperText Markup Language) documentation that can track changes, allows the user to change styles, and has its own semantics that allows decoration of knowledge.

**Keywords** — MDM, MDA, xtUML, BridgePoint, model, documentation, prototype

## I. INTRODUCTION

A common problem with the software life cycle is the lack of a bond between the executable system, implementation, usage of the system, and system design knowledge, often due to human factors (lack of synchronization between the documentation and the system). The answer to this problem is to incorporate knowledge into the system architecture, which will be able to present gathered knowledge in any phase of software life cycle. The aim of the article is to design and implement a tool that would allow the generation of a knowledge layer from critical models. This tool is also tested on the exemplary prototype of the library information system. The IDE BridgePoint tool has been selected for implementation.

The main objective of this article is to describe the design and implementation of a prototype generator with a knowledge layer (GeKnow). The article introduces the basic concepts of the use of knowledge in software processes. It defines the concepts of the system, model, and knowledge in relation to software processes. It also announces the concept of software prototyping and information system. Then, it analyses the technologies used in realizing the generator. Because the proposed generator will use critical models for its function, it approaches the modelling of the system using Model Driven Architecture (MDA). It also describes the knowledge layer, the critical knowledge of software systems and the BridgePoint IDE, that has been chosen as the IDE for which the generator will be implemented as a plug-in. It explains concepts such as executable UML (xtUML) and object action language (OAL). Applying the studied knowledge, the design of the generator was created. Subsequently, the generator was implemented for BridgePoint IDE. The use of the knowledge layer was tested in the maintenance phase to monitor the exemplary information system for libraries.

## II. ANALYSIS

Prototyping is an important part of the software life cycle. It is an activity that develops a sample that has some end-user properties. Prototypes are divided into [1]:

- Evolutionary prototypes where the prototype gradually evolves into the final software. Development starts with the parts that are best understood.

- throw away prototypes are those that serve their role and are not used anymore. However, they are often included in the system documentation. This type of prototyping starts with misunderstood requirements.
- Incremental prototypes. The final product is divided into several prototypes, which are developed separately and are joined at the end.

Using prototyping during system development brings many benefits. Whether it's a better understanding of the problem for developers themselves, or early testing of users' suggestions and hence enriched the development of their views (users are often domain experts). The time needed for prototype development is a clear drawback of prototyping.

#### A. MDA Process

According to [2], the Model Driven Architecture (MDA) is an architectural software development framework developed by the OMG (Object Management Group) consortium, based on several detailed OMG specifications that are widely used by the developer community. MDA was adopted by the OMG Group in 2001 as an approach to use models during software development. This approach sets goals such as portability, interoperability (the ability of different systems to work together) and reusability. These objectives are met by separating the business and application logic from the technology platform.

Three standard models specified by MDA [3] are:

- Computational Independent Model (CIM), often referred to as a business or domain model. It covers all system requirements and all implementation details. It uses language spoken by experts in the field, thus bridging the gap that usually exists between domain experts and information technologies needed to implement the whole system. [3]
- The Platform Independent Model (PIM) is created by defining services that abstain from technical details that do not change from the platform type. PIM describes the behaviour and structure of the application only within the limits that ensure its portability between different platforms. It is complemented by the principles and rules that define the domain model and transform it by means of information technology. [3]
- Platform Specific Model (PSM) combines platform-independent model specifications with details of how the system uses a particular platform. The transformation from a platform-independent to the platform-dependent model is implemented by applying specific transformation rules to a platform-independent model. The result of this process is a platform-specific model and a transformation map.

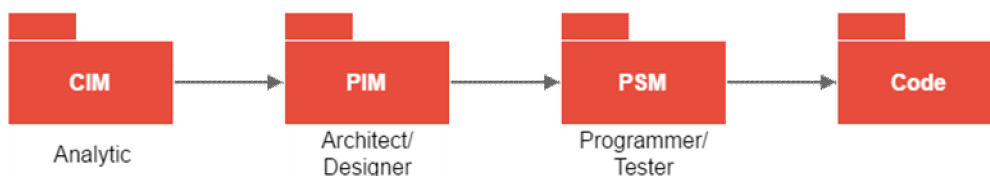


Figure 1 MDA process

Using Model Driven Architecture to develop software brings the following benefits:

- Portability - Using MDA, it is easier to transfer existing functionality to another platform.
- Productivity - Architects and developers are relieved of tasks that can be automated and focus on other tasks.
- Communication - Using models facilitates communication between analysts, designers, developers and users in the process of collecting requirements.

Model Driven Maintenance promotes the idea that there is no need to make changes at the source level of software, but only at the model level. Subsequent translation through the generator generates a modified source code that is consistent with the model.

#### B. Knowledge Layer

According to [4], the ability to adapt to changes, such as the occurrence of an error or the extension of the system, is an important factor in the success of software systems. The response to such a change often does not only depend on the team's ability or knowledge they have about the system. The useful functionality of the system is the ability to adapt or provide enough



information to ease changes. We can secure this functionality by implementing a knowledge layer using the auto-reflexive software architecture (ARSA).

A common problem with the software life cycle is the lack of a bond between the runnable system, implementation, system use, and system design knowledge, often caused by human factors (lack of synchronisation between the documentation and the system). According to [4], one of the ways to avoid this problem is to incorporate the knowledge of the design into the system architecture. In integrating all or at least critical knowledge about the system, it is important to capture the formal representation of knowledge. Generally, there are plenty of methods, tools, and well-known implementation standards if the system is well-structured and well-described. Another possible approach is the use of CBA (Component Based Architecture) [5], and SOA (Service Oriented Architecture) [6] [7], which allows the system to be assembled from the blocks described in the Knowledge layer.

### C. BridgePoint IDE, xtUML and OAL

It is an IDE that runs under Eclipse with a 32-bit version. It is the environment for creating xtUML models, which consists of Editor, Verifier and Compiler.

XtUML, an executable UML (executable translatable UML), is a UML extension that supports the accurate modelling, execution, and translation of complex systems. XtUML is a language specific to BridgePoint IDE. It supports Model Driven Architecture [8], which defines a platform-independent model from which a platform-specific model is compiled. XtUML is based on object-oriented principles and accelerates the process of developing embedded and technical software systems. XtUML extends the UML notation.

The main advantages of xtUML include:

- It is a language of higher abstraction, even though it can go through the implementation details.
- The translator translates 100% of the system into the optimized code. An error can only be in the design.
- Easy to fill in the generated code.
- Reusability of parts.

Object Action Language (OAL), is the language that extends the xtUML semantics of actions [9]. Designed and developed for the BridgePoint Development Suite, the object action language is an important part of xtUML, because it allows modeling one of its basic properties, which is processing. OAL was designed with an emphasis on simplicity, abstraction, model awareness and translating.

XtUML translator automatically generates complete, optimised code from the models. According to [9], the translator consists of three parts:

- A set of design patterns and translation rules that describe the set of patterns to be applied to code generation.
- The translator extracts information about xtUML application models, interprets design patterns and rules, and maps the model components to design patterns to generate the complete code.
- The run-time library containing pre-compiled routines that support code generation.

Splitting the translation into these three parts allows you to edit, construct, and maintain the translator. We can make changes to design patterns, translation rules, or runtime libraries without having to struggle with details or translator.

## III. SOLUTION AND RESULTS

The BridgePoint was chosen as the tool for which the extension will be implemented in [10]. It uses the extended modeling language xtUML, which allows selected UML models to perform and translate. The *description* functionality of this tool has been used to expand the knowledge layer. BridgePoint applies MDA principles that promote the use of models as part of the entire software development process. This approach is quite advantageous for the development of knowledge-based systems, because it allows for simple expansion and enrichment when re-translating the critical model. The model and source code of the system thus remain consistent as well as the knowledge layer that records all the critical knowledge about the system.

The input for the generator are the critical models of the system prototype from which the prototype source code is generated. GeKnow can extract knowledge from the critical model and place them in a special file where they will be clearly displayed, and the knowledge itself will

be able to be edited through the BridgePoint environment. This file represents the knowledge layer of the system.

BridgePoint documentation only contains basic information about system models and does not focus on other knowledge that is important in system development such as changing requirements or justifying changes. As part of the implementation of the generator, we created semantics with the different tags listed in Table 1. These are detected and processed during an extraction process according to a predefined functionality. Also, user is free to define his own styles using styles.css. Documentation generated through GeKnow is also able to track changes made to system components. Extractor (GeKnow component) can backtrack changes kept in documentation and extract knowledge from it.

The solution consists of components that are specialised in their purpose and communicate with each other through the interface. Process of generating knowledge layer documentation is shown on Figure 2. The FileCollector component is a component for collecting files related to the project. Only the ones that have the xtuml suffixes, thus have information about the system. After selecting supported files, the Main will send these files to the FileExtractor component, which will gradually extract the knowledge and information about modelable components. This knowledge is then divided into lists that apply to certain objects, for example, Reader contains the borrow() method so all knowledge about this method (ElementKnowledge) is assigned to the Reader (FileKnowledge). If the file does not contain any knowledge, it is ignored.

FileDecorator takes knowledge and first recognises supported tags and replaces them with HTML tags. Then it decorates knowledge by predefined styles. Knowledge at this stage is ready to be written to a file. The HTML Extractor extracts knowledge about the system using regular expressions. It proceeds similarly to FileExtractor and gradually extends the ElementKnowledge object by properties such as the knowledge and name of the object or from which file it comes from. He then organises this knowledge.

The Comparator component is designed to compare the knowledge lists offered by FileExtractor (new knowledge) and HTMLExtractor (old knowledge). If knowledge was in the HTML Extractor list and was not in FileExtractor, that means it was deleted, if it was only found in FileExtractor, it was added, and if the value of the description changes, it means the knowledge has changed. When a change is detected, we are searching for reason marked with <why> tag.

New Knowledge Lists and a list of changes are sent to the HTMLHandler component that will stylize them and write to the file. He also adds changes from previous generations.

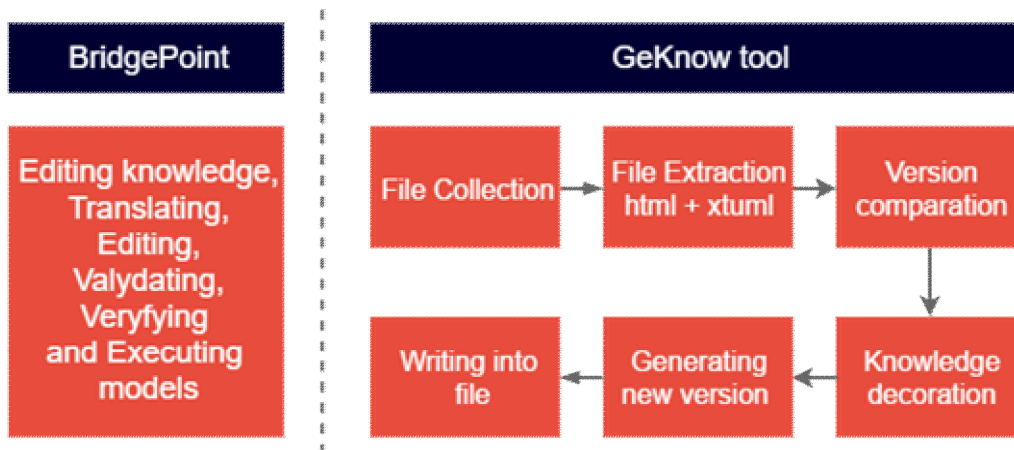


Figure 2 Process of generating Documentation of Knowledge.

As an exemplary system, LiMa, the library management system was created. This system was implemented in BridgePoint using xtUML and enriched by the knowledge layer using description. For monitor creation, we suggested that it should be implemented as a stand-alone component, which after integrating into the system constantly checks the values of its critical parameters and compares them with the data contained in the knowledge layer. When detecting significant deviations from the preferred values, the monitor component notifies or alters the operation of the system accordingly. This prevents further errors that could damage the information system or cause data loss.

The maintenance phase is undoubtedly a very important part of the software life cycle. Whether it's bug fixes, adding new features or improving performance, it's an element that is necessary to keep the software up to date, because software is a model of reality and it is constantly changing. Successful software, for example, needs to expand new functionality from time to time or adapt to new hardware if modifications occur. Model Driven Maintenance

promotes the idea that there is no need to make changes at source software level, but only at the model level. Subsequent translation through the generator generates a modified source code that is consistent with the model. Using knowledge layer (used for storing all the knowledge gathered through life cycle) allows the programmer an easier implementation, look at what was declared as important, or even consider user's feels of how it should behave. If we continuously expand our knowledge layer and we advance using MDA, then the knowledge layer contains information from domain experts, users, architects, designers, programmers, testers, integrators, maintainers and is connected to its core models that enable to generate running system.

The functionality of the designed GeKnow tool and its symbiosis with BridgePoint IDE was tested in a simulation where 4 volunteers and I participated in the maintenance phase of LiMa system. During this simulation, we gradually expanded knowledge layer and generated new versions of the system. We picked from 3 roles Reader (library member), Editor (library worker), Admin (administrator, maintainer + programmer) that LiMa recognises, and we simulated them.

#### IV. CONCLUSION

The main benefit of the GeKnow and BridgePoint bound is how easy it is to guide in the knowledge guide and then make changes to system accordingly. Other advantage is that the whole project with models, knowledge and functionality can be shared using only one file, which is exported using the BridgePoint tool. Another advantage of this connection is that it is also possible to generate source code of the system prototype from these models.

In the future, it would be advisable to extend the documentation so that it can be used to import the project into BridgePoint, for example, the xtuml project file would be inserted at the html file end. Next, it would be beneficial to add an HTML editor to the BridgePoint to allow users live preview of the text, adding views into extension. The survey mentioned in the [10] shows that users would welcome the possibility of defining their own syntax. This can be achieved by creating file of user defined tags and their styles.

#### ACKNOWLEDGMENT



This work is the result of the project implementation: IT4KT - Information technology for knowledge transfer (ITMS project code: 26220220123) supported by the Research & Development Operational Program funded by the ERDF.

#### REFERENCES

- [1] R. BISCHOFBERGER, WALTER; POMBERGER, GUSTAV. Prototyping-Oriented Software Development. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1992. e-ISBN-13:978-3-642-84760-8 DOI:10.1007/978-3-642-84760-8.
- [2] F. TRUYEN, „The Fast Guide to Model Driven Architecture,“ [Online]. Available: [http://www.omg.org/mda/mda\\_files/Cephas\\_MDA\\_Fast\\_Guide.pdf](http://www.omg.org/mda/mda_files/Cephas_MDA_Fast_Guide.pdf). [Cit. 2016-06-15].
- [3] M. BELAUNDE, C. BURT A C. CASANA VE, „MDA Guide Version 1.0,“ 1. 05 2003. [Online]. Available: [http://www.omg.org/mda/mda\\_files/MDA\\_Guide\\_Version1-0.pdf](http://www.omg.org/mda/mda_files/MDA_Guide_Version1-0.pdf). [Cit. 2016-06-16].
- [4] Z. HAVLICE, „Auto-Reflexive Software Architecture with Layer of Knowledge,“ International Review on Computers and Software (I.RE.CO.S.), 2007.
- [5] F. LÜDERS, „Use of Component-Based Software Architectures in Industrial Control Systems,“ 2003. [Online]. Available: [http://www.ipr.mdh.se/pdf\\_publications/503.pdf](http://www.ipr.mdh.se/pdf_publications/503.pdf). [Cit. 2016-11-16].
- [6] T. ERL, „Service-Oriented Architecture: Concepts, Technology, and Design,“ 2004.
- [7] M. P. PAPA ZOGLOU A D. GEORGAKOPOULOS, „Introduction: Service-oriented computing,“ Communications of the ACM - Service-oriented computing, %1. vyd.46, pp. 24-28, 2003.
- [8] S. J. MELLOR A M. J. BALCER, Executable UML: A Foundation for Model-Driven Architecture, Addison-Wesley Professional, 2002.
- [9] Project Technology, Inc., „Object Action Language TM Manual.“ [Online]. Available: <http://www.oaatool.com/docs/OAL08.pdf>. [Cit. 2016-06-17].
- [10] FIGURA, P., Design, Prototyping and Implementation of Information Systems with knowledge layer., 2017 [cit. 2017-05-05]. Master's thesis. Technical University of Kosice, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Dept. of Computers and Informatics. Thesis supervisor Zdeněk Havlice.

# Budič krátkeho dipólu radaru na vyhľadavanie objektov pod zemou na báze M-postupnosti

<sup>1</sup>Martin PEČOVSKÝ, Stanislav SLOVÁK, Pavol GALAJDA

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach

<sup>1</sup>martin.pecovsky@tuke.sk

**Abstrakt** — Tento článok opisuje návrh obvodu budiča krátkeho dipólu od formulácie požiadaviek cez simulácie až po realizáciu obvodu pomocou súčiastok dostupných na trhu. Následne sú predpoklady overené priamo v UWB radarovom systéme. Navrhnutý obvod je súčasťou UWB radaru na báze M-postupnosti určeného na vyhľadavanie objektov pod zemou. Umožňuje budenie inak prijímacej antény radaru signálom s nízkym výkonom za súčasného merania prúdu pretekajúceho anténou. Vďaka tomu je možné s použitím tohto obvodu merať väzbu antény na zem ako aj ďalšie parametre.

**Kľúčové slová** — GPR, krátky dipól, M-postupnosť, UWB

## I. ÚVOD

Vývoj ultraširokopásmových (UWB, z angl. ultra-wideband) radarov založených na báze M-postupnosti má na našom pracovisku (KEMT FEI TUKE) dlhú históriu. Naši kolegovia v spolupráci s výskumným tímom z TU Ilmenau stáli pri zrode mnohých softvérových ako aj hardvérových riešení pre túto rýchlo sa rozvíjajúcu oblasť radarovej techniky nachádzajúcej uplatnenie v rôznych oblastiach priemyslu, bežného života, ako aj pri ochrane zdravia a životného prostredia. Ďalšou z možných aplikácií UWB radarov na báze M-postupnosti je ich využitie ako radarov určených na vyhľadavanie objektov pod zemou (GPR, z angl. ground-penetrating radar).

Táto aplikácia systému však so sebou nesie mnohé špecifiká a kladie nové požiadavky na návrh elektronických obvodov, mechanickej zostavy radaru, antén i na softvérové vybavenie radaru zahŕňajúce algoritmy spracovania meraných dát. Tento článok sa zaoberá návrhom obvodu budiča elektricky krátkeho dipólu pre UWB radar na báze M-postupnosti určený na vyhľadavanie objektov pod zemou. Tento obvod je nevyhnutnou súčasťou elektricky krátkej prijímacej antény spomínaného radaru, ktorá umožňuje budenie antény M-postupnosťou a meranie prúdu pretekajúceho anténou na účely merania jej väzby na zem, respektíve na materiál v blízkosti antény. Po vhodnom spracovaní dát v spolupráci s ďalšími obvodmi navrhovanými na našom pracovisku tak umožňuje okrem kalibrácie radaru a správneho nastavenia umiestnenia antény aj meranie elektrických vlastností materiálu (pôdy) v blízkosti antény.

Tento článok v krátkosti opisuje návrh obvodu budiča krátkeho dipólu od formulácie požiadaviek cez simulácie až po realizáciu obvodu pomocou súčiastok bežne dostupných na trhu. Následne sú predpoklady overené priamo v UWB radarovom systéme. Keďže vzhľadom na rozsah tohto článku nie je možné podrobne opísať princípy fungovania radarov na báze M-postupnosti, čitateľa môžeme odporučiť na literárne zdroje [1], [2] a [3]. UWB GPR systém, pre ktorý je vyššie spomínaný obvod navrhovaný, bol opísaný v práci [4].

## II. NÁVRH OBVODU BUDIČA KRÁTKEHO DIPÓLU

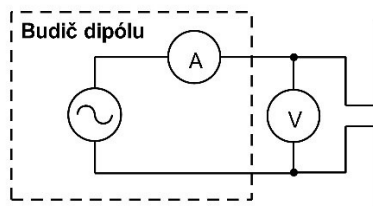
### A. Formulácia požiadaviek

Pri samotnom návrhu obvodu, ako aj pri hodnotení úspešnosti návrhového procesu je nevyhnutné definovať požiadavky kladené na obvod. V prípade budiča krátkeho dipólu pre UWB GPR na báze M-postupnosti je možné hlavné požiadavky na vlastnosti obvodu zhrnúť do nasledujúcich bodov:

- 2 režimy funkčnosti prepínateľné logickým signálom z riadiacej jednotky: príjem (Rx) a vysielanie/kalibrácia (Tx)

- budenie krátkeho dipólu (max. dĺžka 30 cm) M-postupnosťou s rozkmitom  $400 \text{ mV}_{pp}$  v režime Tx
- meranie priebehu prúdu tečúceho dipólom v bode napájania v režime Tx
- prepnutie budiča do stavu vysokej impedancie na svorkách dipólu v režime Rx
- mechanické i elektrické pripojenie priamo do bodu napájania dipólu (stred dipólu)
- frekvenčné pásmo od 50 do 300 MHz
- Impedancia  $50 \Omega$  proti zemi ( $100 \Omega$  diferenčne) na vstupe M-postupnosti a výstupe prúdového senzora
- diferenčné zapojenie vstupov a výstupov
- minimálna spotreba a maximálna jednoduchosť obvodu

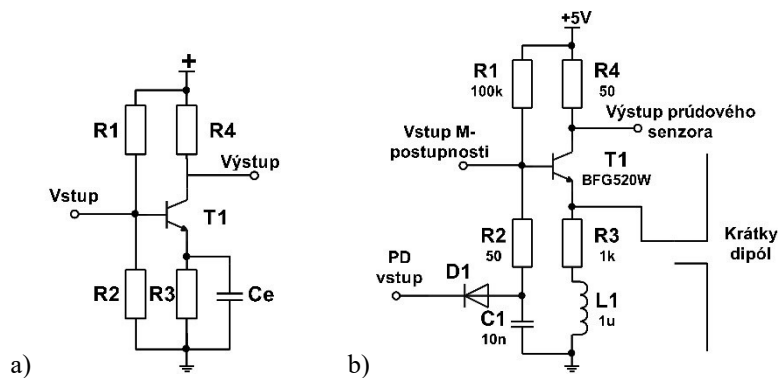
Zjednodušená bloková schéma zapojenia obvodov antény UWB GPR radaru je na obr. 1 s vyznačenými funkciami, ktoré zabezpečuje budič dipólu opisovaný v tomto článku.



Obr. 1 Zapojenie budiča krátkeho dipólu v systéme aktívnej prijímacej antény UWB GPR radaru

### B. Princíp činnosti obvodu

Pre riešenie danej úlohy bolo zvolené jednoduché zapojenie tranzistorového zosilňovacieho stupňa so spoločným emitorom (obr. 2 a)). Toto zapojenie je všeobecne dobre známe, napriek tomu ďalej popíšeme funkciu niektorých prvkov. Budiaci signál vstupuje do bázy tranzistora a po prúdovom zosilnení vytvára úbytok napätia na rezistore R4 v kolektore. Tento rezistor má zároveň podstatný vplyv na výstupnú impedanciu obvodu. Rezistory R1, a R3 slúžia na nastavenie a stabilizáciu pracovného bodu. Dolná medzná frekvencia zosilňovača závisí od kapacity Ce. Pri nízkej hodnote kapacity a nízkej frekvencii sa na emitore objaví rovnaké striedavé napätie ako na báze, pričom ak je odpor R4 dostatočne nízky, je možné využiť túto svorku ako napäťový zdroj. Zapojenie so spoločným emitorom sa tak čiastočne modifikuje na zapojenie so spoločným kolektorom (emitorový sledovač).



Obr. 2 a) základné zapojenie so spoločným emitorom, b) jeho modifikácia na budič krátkeho dipólu

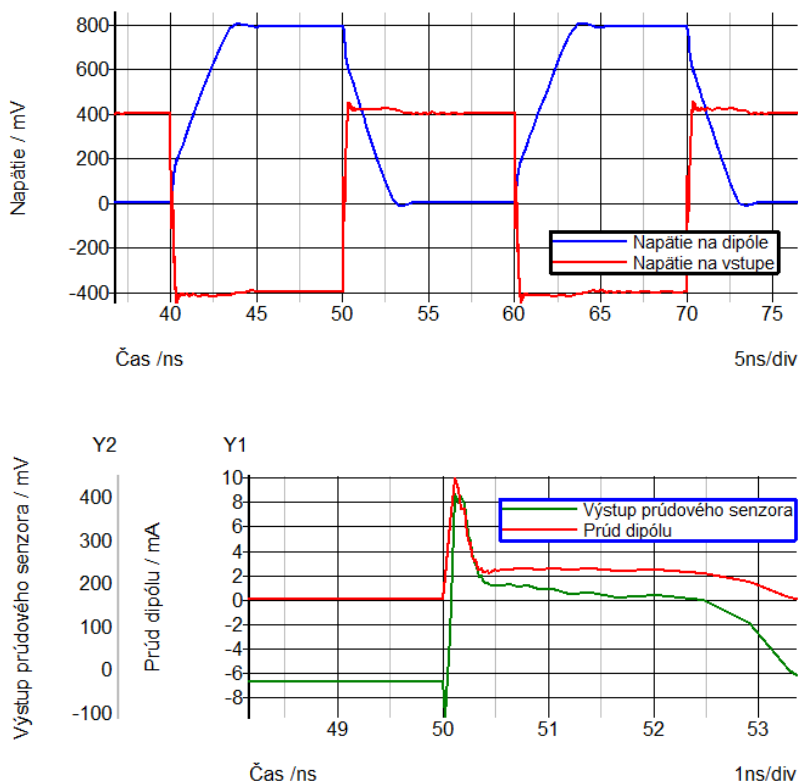
Tieto vlastnosti využíva aj obvod navrhovaný v tomto článku, ktorého schéma je na obr. 2 b). Vstup signálu M-postupnosti z generátora implementovaného v základnej jednotke radaru je privedený na bázu tranzistora T1. Rezistor R2 zabezpečuje vstupnú impedanciu  $50 \Omega$  pre vysokofrekvenčné signály a zároveň umožňuje uzavretie tranzistora znížením napätia na báze cez diódu D1 a vstup PD (z angl. power down), čím sa obvod prepne do režimu Rx. Namiesto kondenzátora Ce je do obvodu tranzistora zapojená jedna polovica elektricky krátkeho dipólu, ktorý sa v širokom pásme frekvencií (pokiaľ  $L < \lambda/5$ , kde L je dĺžka dipólu a  $\lambda$  vlnová dĺžka prislúchajúca danej frekvencii na dipóle) javí ako kapacita [5] [6]. Druhá polovica je pripojená na rovnaký obvod napájaný signálom s opačnou fázou. Takto sa na svorkách dipólu objaví rovnaké striedavé napätie, ako bolo privedené medzi vstupy. Keďže napäťové zosilnenie okolo 1 je postačujúce pre signál z generátora M-postupnosti s amplitúdou  $200 \text{ mV}$ , nie je potrebný ďalší zosilňovací stupeň.

Signál s priebehom zodpovedajúcim priebehu prúdu cez dipól sa v tomto zapojení objaví na kolektore tranzistora. Rezistor R4 zabezpečuje impedanciu výstupu prúdového senzora približne  $50 \Omega$  a súčasne funguje ako prevodník prúdu na napätie. Cievka L1 zabráňuje toku vysokofrekvenčného prúdu cez rezistor R3 bez ovplyvnenia nastavenia pracovného bodu. Musí byť vyhotovená v prevedení vhodnom pre vysoké frekvencie, t.j. s vysokou vlastnou rezonančnou frekvenciou. Pre niektoré aplikácie sa môže vynechať. Na všetkých vstupoch (okrem PD) aj výstupoch sú použité väzobné kondenzátory, aby nedošlo k ovplyvneniu jednosmerných veličín pripojenými obvodmi alebo náhodným dotykom antény so zemou. Tieto kondenzátory sú zo schémy vynechané pre jej zjednodušenie.

Prepínanie do stavu vysokej impedancie na svorkách dipólu je zabezpečené znížením napätia na báze T1 cez rezistor R2 na 0 V s možnosťou priviesť na bázu aj záporný potenciál, ak sa pre napájanie použijú dva zdroje. Tým sa tranzistor z pohľadu dipólu javí ako spätne polarizovaný PN priechod, ktorého kapacita závisí od jednosmerného vypínacieho napätia privedeného na rezistor vstup PD. Túto závislosť je možné využiť na prípadné odladenie nežiadúcich rezonančných kmitočtov mimo prenosového pásma. Konverzia logického signálu z riadiacej jednotky radaru na vhodné vypínacie napätie pre vstup PD je zabezpečená konvertorom logických úrovní, ktorý vzhľadom na rozsah článku nebudeme širšie opisovať.

### C. Výsledky simulácií

Obvod budiča krátkého dipólu bol simulovaný v programe ADIsimPE, ktorý obsahuje okrem iných vysokofrekvenčných polovodičových súčiastok aj model tranzistora BFG520W. Dva obvody podľa obr. 2 b) boli simulované v mostíkovom zapojení s budením obdĺžnikovým signálom. Dipól bol pre účely simulácie obvodu nahradený kondenzátorom s kapacitou 10 pF odvodenou z predchádzajúcich simulácií v prostredí pre návrh antén. Rovnaké simulácie boli vykonané pre viacero hodnôt náhradnej kapacity antény pre overenie možnosti merať väzbu antény na zem navrhovaným obvodom. Časové priebehy napätí a prúdov získaných simuláciou sú zobrazené na obr. 3.



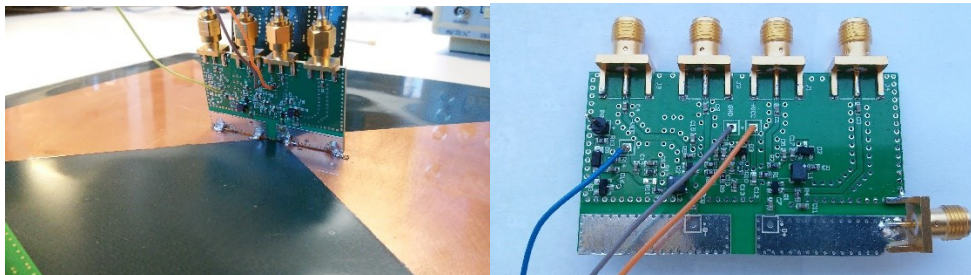
Obr. 3 Simulácia závislosti napätia na dipóle od vstupného napätia (hore) a napätia na meracom výstupe prúdu v závislosti od skutočného prúdu anténou.

Z porovnania vstupného napätia obvodu a napätia dodaného na svorky dipólu je zrejmé, že výstupná impedancia obvodu sa prejavuje spomalením nábehu napätia na anténe. Tento jav však vzhľadom na využitie obvodu pre vysielanie elektricky krátkymi anténami v oblasti pomerne nízkych frekvencií nie je na závalu. Integrácia signálu čiastočne ekvalizuje pokles účinnosti antén pri nízkych frekvenciách, čím rozšíri použiteľné pásmo. Obrátenie fázy a rovnaká amplitúda vstupného a výstupného napätia sú v súlade s predpokladmi.

Z porovnania prúdu dipólom a napätia na výstupe obvodu slúžiacom na meranie prúdu anténou je vidieť, že výstup merania prúdu tvarom kopíruje skutočný priebeh prúdu anténou. Prekmity na začiatku impulzu sú pravdepodobne spôsobené parazitnými prvkami obvodu. Po prechode antialiasingovým filtrom na vstupe základnej jednotky radaru sa však vyhladia.

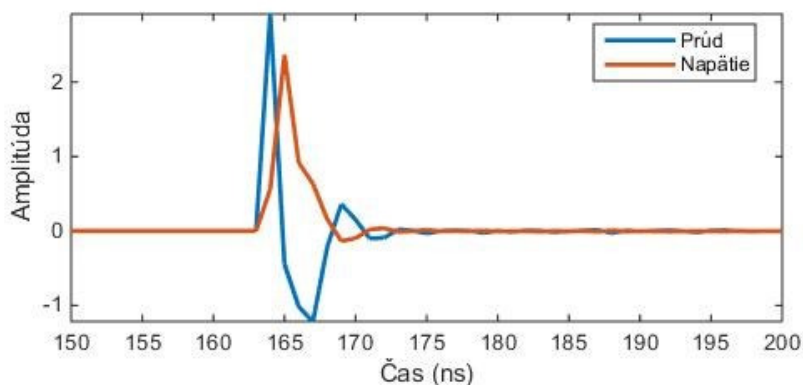
### III. VÝSLEDKY MERANÍ

Po overení funkčnosti simuláciami bola pre obvod budiča krátkeho dipólu navrhnutá doska plošných spojov. Jej fotografia spolu s fotografiou jej umiestnenia na anténe je na obr. 4.



Obr. 4 Fotografie zhotovenej dosky plošných spojov budiča a jej umiestnenia na anténe

Následne bol vyrobený prototyp zapojený do UWB GPR systému na báze M-postupnosti ako je to naznačené na obr. 1 a obr. 4 a funkčnosť overená meraním priamo v radare. Namerané priebehy napätia a prúdu na anténe v režime vysielania sú na obr. 5. Priebehy napätia a prúdu cez krátky dipól sú v súlade s teoretickými predpokladmi potvrdenými aj simuláciami antény. Krátky dipól sa správa ako kapacita, teda prúd je prvou časovou deriváciou napätia.



Obr. 5 Priebehy napätia a prúdu na dipóle merané UWB radarom

### IV. ZÁVER

Predložený článok opisuje návrh obvodu budiča krátkeho dipólu ako antény UWB radaru určeného na vyhľadávanie objektov pod zemou pracujúceho na báze M-postupnosti. Návrhom jednoduchého obvodu pozostávajúceho z 2 totožných blokov s jedným tranzistorom v mostíkovom zapojení sa podarilo splniť požiadavky stanovené na začiatku vývoja obvodu. Po overení funkčnosti simuláciami bola navrhnutá a vyrobená doska plošných spojov. Následne bol obvod zhotovený z SMD súčiastok dostupných na trhu. Jeho funkčnosť bola overená meraním priamo v systéme, pre ktorý je obvod určený. Výsledkami meraní boli potvrdené teoretické predpoklady o funkcii obvodu i elektricky krátkeho dipólu. Obvod umožňuje budenie dipólu signálom M-postupnosti za súčasného merania prúdu tečúceho anténou. V spojení s vysokoimpedančným senzorom napätia vyvinutým pri predchádzajúcom výskume tak obvod budiča umožňuje meranie väzby antény na zem, kalibráciu radaru a prípadne i meranie elektrických vlastností materiálu v blízkosti antény.

V ďalšej práci by bolo vhodné zamerať sa na ďalšie zlepšovanie vlastností obvodu, ako sú napr. zvýšenie šírky pásma a impedancie na svorkách dipólu v režime prijmu. Taktiež by bolo možné na diferenčné výstupy merania prúdu pripojiť rozdielový zosilňovač, čo by umožnilo ich pripojenie do vstupu prevodníka UWB radaru jediným koaxiálnym káblom.

#### POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-15-0692.

#### LITERATÚRA

- [1] Sachs, Jürgen. Handbook of Ultra-Wideband Short-Range Sensing. Wiley-VCH, Weinheim, 2012, 824 s. ISBN: 978-3-527-40853-5
- [2] Sachs, J., et al., "Ultra-wideband polarimetric GPR-array stimulated by pseudo random binary codes." Ground Penetrating Radar, 2004. GPR 2004. Proceedings of the Tenth International Conference on. Vol. 1. IEEE, 2004.
- [3] Sachs, J., et al. "Recent advances and applications of m-sequence based ultra-wideband sensors." Ultra-Wideband, 2007. ICUWB 2007. IEEE International Conference on. IEEE, 2007.
- [4] M. Pečovský, „Návrh elektroniky pre budenie poľa UWB antén,“ Diplomová práca, Technická univerzita v Košiciach, 2016
- [5] Černohorský, Dušan; Tichý, Jaroslav. Vyzařování a šíření rádiových vln, II. díl – Antény. Vojenská akademie Antonína Zápotockého, 1977, 452 s.
- [6] Hansen, Robert C., and Robert E. Collin. Small antenna handbook. John Wiley & Sons, 2011.
- [7] J. D. Taylor, Ultrawideband Radar: Applications and Design (1st ed.). Boca Raton: CRC Press, Inc., 2012



# Analýza rozloženia elektromagnetického poľa v okolí domácich spotrebičov

*Dominik GDOVIN, Dušan MEDVEĎ*

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická  
univerzita v Košiciach, Slovenská republika

dominik.gdovin.2@student.tuke.sk, dusan.medved@tuke.sk

**Abstrakt** — Tento príspevok sa venuje problematike zistenia rozloženia elektromagnetického poľa v okolí bežných domácich elektrických spotrebičov. Používatelia domácich elektrických zariadení niekedy využívajú dané zariadenia bez prečítania si manuálu, resp. bezpečnostných podmienok. Človek, ako „zmes“ rôznych elektrolytov a polovodivých materiálov, správa sa pri rôznych fyzikálnych podmienkach rôzne, čo je ovplyvnené elektrickými a magnetickými (ako aj mechanickými) vlastnosťami príslušného biologického tkaniva. Pri pôsobení vonkajšieho elektromagnetického pôsobenia na človeka môže dôjsť k nevratným zmenám v tkanive. Preto správne používanie elektrických zariadení v domácnosti by malo zahŕňať aj poznatok o rozložení elektromagnetického poľa vyvolaného používaním príslušného zariadenia. Tento príspevok sa preto venuje modelovaniu elektromagnetických polí v okolí vybraných elektrických zariadení. Jednotlivé simulácie boli realizované v programe ANSYS, pričom pred samotnou simuláciou prebiehali predbežné vstupné merania elektrickej intenzity a magnetickej indukcie príslušných zariadení.

**Kľúčové slová** — elektromagnetické pole, elektrický spotrebič, elektrická intenzita, magnetická indukcia, ANSYS

## I. ÚVOD

Elektromagnetické pole je vo všeobecnosti kombinácia elektrického a magnetického poľa. Zmena jedného poľa vyvolá zmenu toho druhého. Na našej planéte elektromagnetické polia existujú už od nepamäti. V dávnej minulosti boli zdrojmi elektromagnetického žiarenia prirodzené procesy (slnečná aktivita, kozmické žiarenie, magnetické pole Zeme a iné). V dnešnej dobe je elektromagnetické pole, ktoré sa vyskytuje v umelej alebo prirodzenej forme neodmysliteľnou súčasťou každodenného života. Elektromagnetické žiarenie alebo takzvaný „elektrosmog“ má nepriaznivé účinky na živé organizmy. Tieto polia nedokážeme vnímať žiadnym zmyslom a preto vnímame iba ich tepelné a netepelné účinky, ktoré sú škodlivé.

Zdrojom elektromagnetického žiarenia v obytných budovách sú aj elektrické spotrebiče, vrátane samotnej elektroinštalácie. Keďže emitované elektromagnetické žiarenie môže mať aj nepriaznivé účinky na živé organizmy, je potrebné ho skúmať, analyzovať a v neposlednom rade sa proti nemu chrániť. V dnešnej dobe sa vplyvom elektromagnetického žiarenia na ľudský organizmus zaoberajú dve svetové inštitúcie. Svetová zdravotnícka organizácia (WHO) a Medzinárodná komisia pre ochranu pred neionizujúcim žiarením (ICNIRP). Tento príspevok sa preto venuje analýze vplyvu elektromagnetického žiarenia, ktoré sa vyskytuje v obytných budovách v okolí elektrických zariadení. Výsledok tohto príspevku má poukázať na to, že aj v domácnosti sa nachádzajú zariadenia, v okolí ktorých vzniká silné elektromagnetické pole, ktoré môže mať nepriaznivý vplyv na ľudský organizmus. Rozloženia elektromagnetického poľa boli realizované v programe ANSYS.

## II. ANALÝZA ROZLOŽENIA ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA ELEKTRICKÝCH ZARIADENÍ VYSKYTUJÚCICH SA V OBYTNÝCH BUDOVÁCH

Ako bolo spomenuté v úvode, elektromagnetické pole môže nepriaznivo vplyvať na ľudský organizmus. V praxi je potrebné poznať rozloženie elektromagnetického poľa a hodnoty charakteristických veličín, ktoré popisujú elektromagnetické pole v závislosti od vzdialenosti a od intenzity zdroja elektromagnetického poľa. Na základe získaných hodnôt je možné stanoviť bezpečnú vzdialenosť obsluhy (človeka) od zdroja elektromagnetického poľa.

V tejto časti budú uvedené výsledky rozloženia elektromagnetického poľa vybraných elektrických zariadení, ktoré sa vyskytujú v obytných budovách. Simulácie rozloženia elektromagnetického poľa boli realizované v multifyzikálnom nástroji ANSYS v režime APDL. Program ANSYS využíva pre výpočet elektromagnetických polí metódu konečných prvkov.

### III. ROZLOŽENIE ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA V OKOLÍ ELEKTRICKÉHO HOLIACEHO STROJČEKA

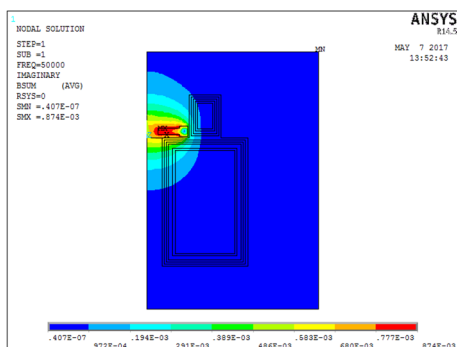
Nakoľko elektrický holiaci strojček je v dnešnej dobe pomerne často využívaný, jeho každodenné používanie a vplyv vyvolaného elektromagnetického poľa z časového hľadiska je dobré poznať. V príspevku sú uvedené výsledky rozloženia EMP nasledujúceho elektrického holiaceho strojčka:

- Holiaci strojček **SATURN ST-HC 7394**
- Výkon: **3 W**
- Napájacie napätie: **230 V**

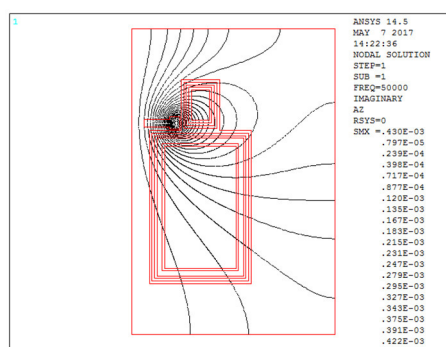


Obr. 1 Elektrický holiaci strojček SATURN ST-HC 7394

#### Riešenie rozloženia magnetického poľa



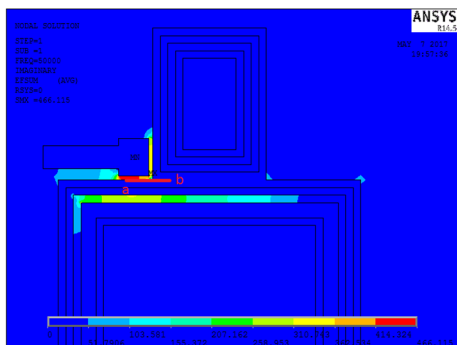
Obr. 2 Rozloženie magnetickej indukcie v okolí elektrického holiaceho strojčka



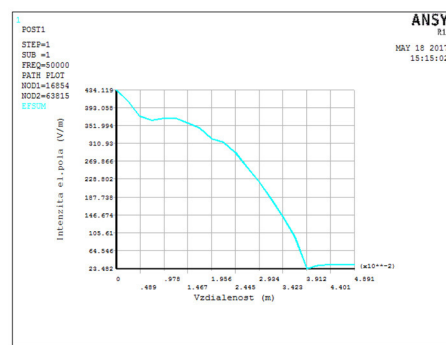
Obr. 3 Zobrazenie magnetických indukčných čiar v okolí elektrického holiaceho strojčka

Podľa Obr. 2 je vidieť, že zvýšená magnetická indukcia sa rozkladá hlavne v okolí hlavy s miernym zásahom do oblasti trupu a s narastajúcou vzdialenosťou od zdroja klesá, keďže z teórie je zjavné, že hodnota magnetickej indukcie klesá nepriamoúmerne v závislosti od vzdialenosti od zdroja. Hodnota magnetickej indukcie v mieste dotyku dosiahla hodnotu  $389 \mu\text{T}$ .

#### Riešenie rozloženia elektrického poľa



Obr. 4 Rozloženie elektrickej intenzity v okolí elektrického holiaceho strojčka



Obr. 5 Zobrazenie elektrickej intenzity v závislosti od vzdialenosti (na úsečke a-b)

Z Obr. 4 je možné vidieť, že intenzita elektrického poľa je najväčšia v mieste, kde sa holiaci strojček dotýka človeka (miesto dotyku). Je možné pozorovať, že s narastajúcou vzdialenosťou

sa intenzita elektrického poľa  $E$  rapídne znižuje. Je to spôsobené tým, že hodnota intenzity elektrického poľa je nepriamoúmerná štvorcu vzdialenosti od zdroja.

#### IV. ROZLOŽENIE ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA V OKOLÍ PLAZMOVEJ GULE

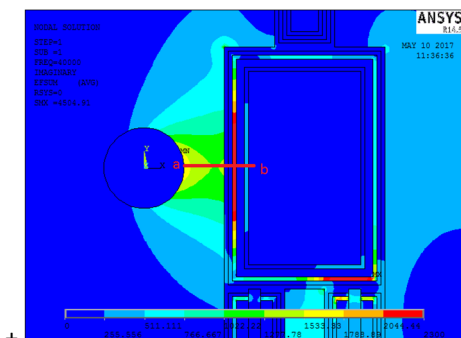
Plazmová guľa je druh dekoratívneho osvetľovacieho telesa. Ide o sklenenú guľu, ktorá je naplnená interným plynom. Plazmová guľa sa čoraz viac dostáva do povedomia ľudí, no len málo kto si vie uvedomiť riziká, ktoré vznikajú pri jej používaní.

- **Plazmová guľa**
- Výkon: **8 W**
- Napájacie napätie: **230 V**

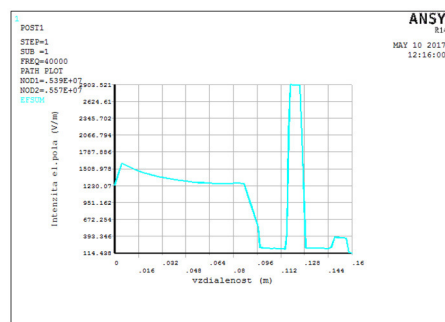


Obr. 6 Vybraný model plazmovej gule

#### Riešenie rozloženia elektrického poľa



Obr. 7 Rozloženie elektrickej intenzity v okolí plazmovej gule



Obr. 8 Zobrazenie elektrickej intenzity v závislosti od vzdialenosti (na úsečke a–b)

Z Obr. 7 je vidieť, že intenzita elektrického poľa smerom od zdroja klesá a prechodom cez časti ľudského tela (koža, krv) sa utlmí na hodnotu cca 150 V/m. Tento útlm je spôsobený tým, že hodnota intenzity elektrického poľa  $E$  je nepriamoúmerná štvorcu vzdialenosti od zdroja. Ďalej je vidieť, že intenzita elektrického poľa sa prudko zvýši v oblasti, ktorá reprezentuje tuk, čo je spôsobené tým, že tuk má výrazne odlišnú rezistivitu ako okolité materiály. Prechodom cez svaly sa intenzita elektrického poľa znovu utlmí a opätovne narastie v oblasti kostí.

#### V. ROZLOŽENIE ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA V OKOLÍ ZVÁRACIEHO INVERTORA

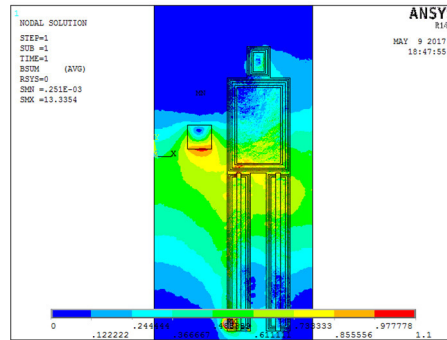
Zváračový inverter nie je klasický domáci spotrebič, no je to veľmi častá pomôcka domácich „majstrov“. Málo kto si však uvedomí, že tento zváračový inverter môže mať pri častom používaní aj nepriaznivé účinky na ľudský organizmus a teda môže byť pre človeka nebezpečný.

- Zváračový inverter **PEGAS 160 E PFC**
- Zváračový prúd: **160 A**
- Napätie naprázdno: **70 V**



Obr. 9 Vybraný model zváračového invertora

### Riešenie rozloženia magnetického poľa



Obr. 10 Rozloženie magnetickej indukcie v okolí zväracieho invertora

Podľa Obr. 10 je možné zhodnotiť, že hodnoty magnetickej indukcie v jednotlivých miestach sú veľmi vysoké a prekračujú dovolené hodnoty uvedené vo vyhláske 534/2007 Z.z. Je to spôsobené tým, že zvärací invertor pracuje s veľkým zväracím prúdom. Ďalej z výsledkov (Obr. 1) je možné povedať, že magnetické pole sa šíri naprieč celým človekom s miernym poklesom hodnôt (útlmom). Tento pokles je zapríčinený tým, že hodnota magnetickej indukcie je nepriamoúmerná vzdialenosti od zdroja. Magnetická indukcia dosahuje najvyššie hodnoty v dolnej oblasti trupu, čo je spôsobené tým, že táto oblasť je približne na rovnakej úrovni ako zvärací invertor.

### VI. ROZLOŽENIE ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA V OKOLÍ ELEKTRICKEJ VŔTAČKY

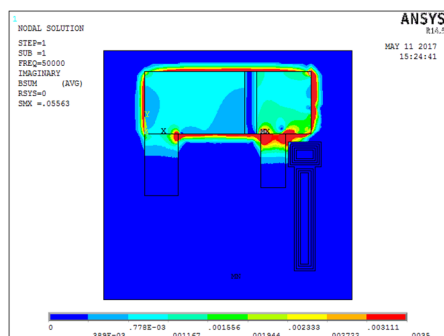
Elektrická vŕtačka je ďalší spotrebič, ktorý sa vyskytuje v obytných budovách, ako pomocný nástroj domácich „majstrov“. Nevýhodou týchto spotrebičov, ktoré pracujú na princípe univerzálnych motorov je, že generujú vo svojom okolí elektromagnetické pole, ktoré môže mať nepriaznivé účinky na ľudský organizmus.

- Elektrická vŕtačka NAREX
- Výkon: 550 W
- Napájacie napätie: 230 V

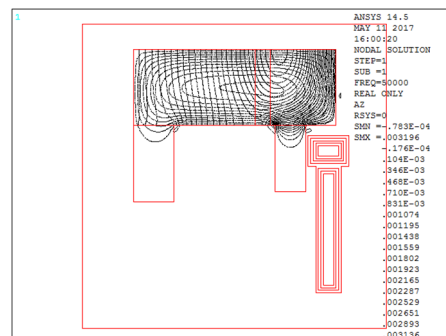


Obr. 11 Vybraný model elektrickej vŕtačky

### Riešenie rozloženia magnetického poľa



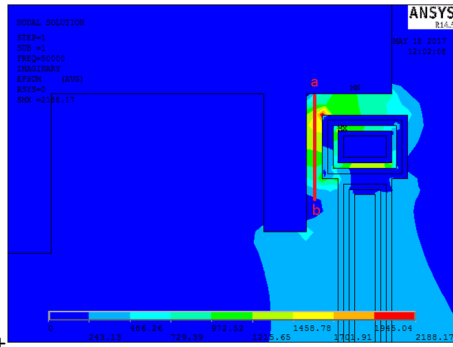
Obr. 12 Rozloženie magnetickej indukcie v okolí elektrickej vŕtačky



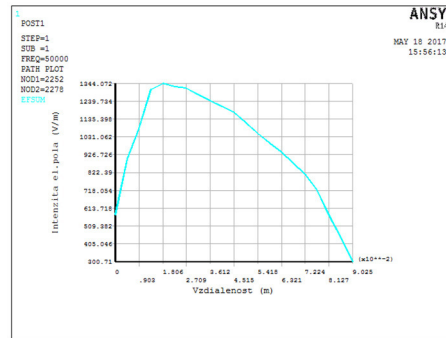
Obr. 13 Zobrazenie magnetických indukčných čiar v okolí elektrickej vŕtačky

Z Obr. 12 je vidieť, že hodnoty magnetickej indukcie  $B$  v okolí elektrickej vŕtačky, dosahujú svoje maximum cca 3 mT a so zväčšujúcou sa vzdialenosťou sa znižujú, pretože je zjavné, že hodnota magnetickej indukcie je nepriamoúmerná vzdialenosti od zdroja. Je vidieť, že magnetická indukcia  $B$  sa predovšetkým rozkladá v okolí vŕtačky a do okolia zasahuje iba minimálne. Je možné povedať, že istá časť ruky sa nachádza v oblasti, v ktorej je magnetická indukcia vysoká a teda je vystavená riziku elektromagnetického poľa.

### Riešenie rozloženia elektrického poľa



Obr. 14 Rozloženie elektrickej intenzity v okolí elektrickej vŕtačky



Obr. 15 Zobrazenie elektrickej intenzity v závislosti od vzdialenosti (na úsečke a–b)

Na základe Obr. 14 je vidieť, že intenzita elektrického poľa  $E$  vyvolaná spínaním elektrickej vŕtačky spôsobila rozloženie  $E$  pozdĺž celej ruky. Najväčšie hodnoty intenzity elektrického poľa je možné pozorovať v oblasti tesne pri zdroji poľa, kedy intenzita elektrického poľa je v rozmedzí 1400 až 1700 V/m. Je vidieť, že hodnoty intenzity elektrického poľa sa v závislosti od vzdialenosti od zdroja znižujú. Je to spôsobené tým, že hodnota intenzity elektrického poľa je nepriamoúmerná štvorcu vzdialenosti od zdroja. Okrem toho je zrejmé, že v oblasti, ktorá reprezentuje tuk, je pozorovaná zvýšená hodnota intenzity elektrického poľa, čo je spôsobené tým, že rezistívia tejto oblasti sa výrazne líši od rezistív susedných oblastí. Mierne zvýšené hodnoty intenzity elektrického poľa je možné pozorovať v spodnej oblasti ruky. Je to spôsobené v dôsledku rozdielnych elektrických potenciálov v týchto miestach.

### VII. POROVNANIE LIMITNÝCH A VYPOČÍTANÝCH HODNÔT

Keďže bežný človek nevie posúdiť, či sú alebo nie sú uvedené hodnoty  $E$  a  $B$  škodlivé, je preto vhodné uviesť odporúčanú tabuľku limitných hodnôt (pre bežného človeka, v štandardných podmienkach), na základe ktorej sa dá stanoviť, ktoré spotrebiče sú škodlivé.

Namerané (nasimulované) hodnoty, ktoré sú porovnávané s limitnými, uvedenými v tabuľke, sú odčítané z miest, kde sa môže človek reálne nachádzať a teda dané elektrické zariadenie používať (madlo, držadlo, a pod.). Limitné hodnoty sú z vyhlášky MZ SR č.534/2007 Z.z.

Tabuľka 1  
 Porovnanie limitných a nameraných hodnôt

	Magnetické pole		Elektrické pole	
	Limitná hodnota (T)	Nameraná hodnota (T)	Limitná hodnota (V/m)	Nameraná hodnota (V/m)
El. holiaci strojček	$6,25 \cdot 10^{-6}$	<b><math>389 \cdot 10^{-6}</math></b>	87	<b>310</b>
Plazmová guľa	$6,25 \cdot 10^{-6}$	–	87	<b>510</b>
Zvárací invertor	$0,0004 \cdot 10^{-6}$	<b>0,46</b>	–	–
Elektrická vŕtačka	$6,25 \cdot 10^{-6}$	<b>0,0027</b>	87	<b>243</b>

Z Tab. 1 je zrejmé, že limitné hodnoty boli prekročené vo všetkých prípadoch a to niekoľkonásobne, nakoľko uvedené vybrané elektrické spotrebiče vytvárajú vo svojom okolí pomerne značné elektromagnetické pole. Ochrana pred elektromagnetickým poľom metódou „bezpečná vzdialenosť“ nemusí byť v niektorých prípadoch ideálna, keďže z praxe vieme, že obsluha elektrických zariadení je vo vzdialenosti od zdroja elektromagnetického poľa len niekoľko centimetrov. Efektívnejšia ochrana je obmedziť čas pôsobenia, kedy sa obsluha snaží vystavovať sa elektromagnetickému poľu čo najkratší čas. Ďalšou z odporúčaných ochrán môže byť ochrana elektromagnetickým tienením, kedy sa pred zdroj elektromagnetického žiarenia umiestni tieniaci materiál, ktorý výrazne zoslabí elektromagnetické pole.

### VIII. ZÁVER

Cieľom tohto príspevku bolo zhodnotiť vplyv elektromagnetického poľa v okolí vybraných elektrických domácich spotrebičov. V príspevku boli uvedené výsledky simulácií v prostredí ANSYS a hodnoty porovnávali sa hodnoty elektrickej intenzity  $E$  a magnetickej indukcie  $B$  s limitnými hodnotami uvedenými vo vyhláške 534/2007 Z.z. Na základe výsledkov simulácií je potrebné uviesť, že ochrana pred nepriaznivými vplyvmi elektromagnetického žiarenia, by nemala začínať u spotrebiteľov, ale už pri výrobe elektrických zariadení. Preto by bolo vhodné,

aby sa výrobcovia elektrických zariadení podrobnejšie zaoberali problematikou elektromagnetických polí a pri výrobe elektrických zariadení používali materiály na tmenie elektromagnetických polí. Ďalším odporúčaním je, aby výrobcovia/predajcovia poskytovali informácie o bezpečných vzdialenostiach a dovolených časoch používania elektrických zariadení, čím by sa znížilo riziko vplyvu elektromagnetických polí na ľudský organizmus.

#### POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR a SAV grantom VEGA 1/0132/15 a tiež v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt *Ochrana obyvateľstva SR pred účinkami elektromagnetických polí* (ITMS kód: 26220220145), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

#### REFERENCIE

- [1] Vyhláška . 534/2007 Zb. Ministerstva zdravotníctva SR zo 16. augusta 2007 o podrobnostiach o požiadavkách na zdroje elmag. žiarenia a na limity expozície obyvateľov elektromagnetickému žiareniu v životnom prostredí.
- [2] Cabanová, Z.: *Biologické účinky elektromagnetického poľa*. 2004. [online]. [cit. 2016-10-27]. Dostupné na internete: <http://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/83673/AEEE-2004-3-4-24-cabanova.pdf?sequence>.
- [3] KTEBI: *Zdroje neionizujúceho žiarenia, veličiny EMP, dozimetrické veličiny a ich jednotky*. [online]. [cit.2016-10-27]. Dostupné na: [http://158.193.212.66/ivana/biomedici/site/materialy/8\\_semester/ZOZ/9\\_prednaska.pdf](http://158.193.212.66/ivana/biomedici/site/materialy/8_semester/ZOZ/9_prednaska.pdf).
- [4] Gdovin, D.: *Zhodnotenie vplyvu elektromagnetických polí elektrických zariadení vyskytujúcich sa v obytných budovách*. Bakalárska práca. Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2017.

# Koncept aktívneho integrovaného smerového prvku

<sup>1</sup>Stanislav SLOVÁK, Martin PEČOVSKÝ, Pavol GALAJDA

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>1</sup>stanislav.slovak@tuke.sk, martin.pecovsky@tuke.sk, pavel.galajda@tuke.sk

**Abstrakt** – Tento príspevok je venovaný problematike návrhu a vývoja v oblasti zákaznických integrovaných obvodov a možnostiam implementácie špeciálnych aktívnych smerových prvkov, realizovaných spolu s UWB systémom ako jeden funkčný celok. Sú tu opísané teoretické základy, ako aj načrtnutý prvý koncept integrovaného širokopásmového smerového prvku realizovaného ako monolitický integrovaný obvod.

**Kľúčové slová** – Smerová odbočnica, ASIC, zákaznicke integrované obvody, UWB.

## I. ÚVOD

Pri pohľade späť do histórie, stojí za to spomenúť najdôležitejšie míľniky, ktoré stáli za vývojom smerových odbočníc. V 40 rokoch minulého storočia bola v laboratóriu MIT (Massachusetts Institute of Technology) vyvinutá a charakterizovaná rozmanitosť vlnovodových spojok zahrňujúcich napr. E a H T spojku známu aj ako "Magic Tee", multiotvorová smerová odbočnica (Multihole Directional Coupler), alebo Schwingerová odbočnica a rôzne ďalšie typy smerových odbočníc, ktoré môžeme zaradiť do kategórie pasívnych zariadení. Ďalším dôležitým krokom vývoja smerových odbočníc bolo ich vylepšenie pomocou mikropásikových vlnovodov [1] využitím moderných technológií.

Náplňou tohto článku bude taktiež načrtnúť nastolený problém implementácie smerových odbočníc na báze nových aktívnych štruktúr, ktoré je možné integrovať priamo napr. do systémov realizovaných na jednom monolitickom mikrovlnnom integrovanom obvode.

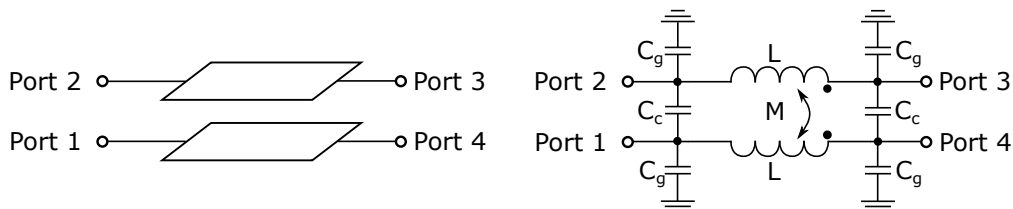
Obsahom nasledovnej kapitoly je teoretický úvod do problematiky všeobecne smerových prvkov, ktoré sa používajú v RF technike. Tretia kapitola je zameraná na opis základných parametrov smerových prvkov, ktoré určujú kvalitatívne parametre daného prvku. Posledná kapitola, ale hlavne jej druhá časť je venovaná problematike integrovania aktívnych širokopásmových smerových prvkov z ktorej vyplýva potenciálne možná realizácia celých systémov na jednom čipe.

## II. SMEROVÁ ODBOČNICA

Smerová odbočnica (Directional Coupler) je všeobecne vzaté pasívne zariadenie používané najmä v oblasti rádiových technológií. Pasívne zariadenie je také, ktoré pre svoju správnu funkčnosť nevyžaduje žiadnu dodatočnú energiu. Smerové odbočnice slúžia predovšetkým na prenos vyžiarého výkonu z jedného portu cez prenosové vedenie do ďalšieho portu, využitím druhého prenosového vedenia, ktoré sa nachádza v presne definovanej veľmi malej vzdialenosti. Je potrebné, aby vzdialenosť bola zvolená tak, že energia signálu, ktorý je vedený jedným vedením sa čiastočne naviaže na iné vedenie v jeho blízkosti.

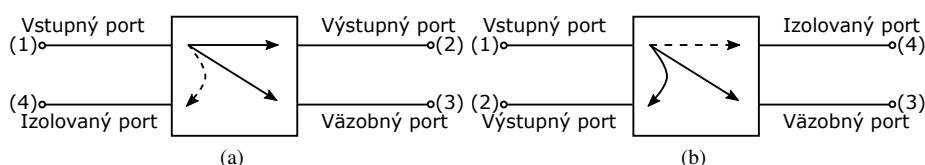
Smerová odbočnica je taktiež definovaná ako pasívne mikrovlnové zariadenie slúžiace na členenie výkonu, napr. vo forme koplanárneho vedenia, ktorého princípálna schéma a náhradná schéma je zobrazená na obr. 1. Náhradná schéma predstavuje indukčný L a kapacitný C charakter koplanárnych vedení, medzi ktorými vzniká indukčná väzba M. Ide o akýsi výkonový delič, ktorý má presne definované akým smerom je možné dodať signál o definovanom výkone. Pre získanie lepšej predstavy pri použití pojmu smerová odbočnica, je na obr. 2 znázornená všeobecná bloková schéma, na ktorú sa v prevažnej miere bude odvolávať obsah nasledovnej kapitoly.

Súčasný trh v oblasti smerových odbočníc pokrýva veľkú oblasť vzhľadom na výrobnú technológiu. Z dôvodu implementácie modifikovaných MMCW (M-sequence Modulated Continuous Wave) systémov do integrovaných štruktúr na jednom čipe, ako je naznačené v [2], nastáva potreba realizácie smerovej odbočnice ako integrovaného aktívneho prvku. Predmetom výskumu v tejto



Obr. 1 Smerová odbočnica na báze koplánámych vedení a jej náhradná schéma

oblasti bol venovaný obsah vybraných aktuálnych vedeckých publikácií [3], [4], ktoré pojednávajú o aktívnych smerových odbočniciach realizovaných ako monolitické štruktúry. Autorom vedeckej práce [3] boli taktiež v oblasti aktívnych smerových odbočníc udelené patentové práva [5]. Medzi hlavnú výhodu môžeme okrem iného zaradiť 'nastavitel'nosť' a rekonfigurovatel'nosť'.



Obr. 2 Bloková schéma smerovej odbočnice

Nastavením parametrov aktívnej smerovej odbočnice môže byť zmenený pracovný režim, v ktorom môže daný prvok fungovať. Napr. práca [4] pojednáva o smerovej odbočnici, ktorá je schopná pracovať v doprednom alebo spätnom režime. Izolovaný port je možné rekonfiguráciou nastaviť na režim väzobného portu a naopak. Nevýhodnou vlastnosťou z pohľadu využitia takýchto štruktúr v oblasti širokopásmových UWB (Ultra-WideBand) systémov je pracovná šírka frekvenčného pásma danej odbočnice. Tento nedostatok je opísaný v [6], kde bol istým spôsobom doplnený o aktívnu smerovú odbočnicu širokopásmový UWB senzor. V tomto prípade bola pasívna štruktúra doplnená o tzv. detektory, ktorých princíp funkčnosti je opísaný nižšie.

### III. PARAMETRE SMEROVÝCH ODBOČNÍC

#### A. Väzba (*C-Coupling*)

Od názvu tohto parametra je odvodený samotný názov smerovej odbočnice. Tento parameter je považovaný za najkritickejší z hľadiska využitia daného obvodového prvku v tej danej aplikácii. Signál s určitým výkonom je privádzaný na vstupný port 1, ktorý je následne kontrolovane distribuovaný medzi jednotlivé porty. Väzba (*Coupling*) je definovaná ako pomer výkonu, ktorý je odklonený na port 3 (podľa obr. 2) pre tú danú frekvenciu, alebo frekvenčné pásmo. Pokiaľ sa napr. zvýši hodnota vstupného výkonu na porte 1 analogicky narastie aj výkon na výstupe (port 3). Týmto spôsobom je možné určiť hodnoty vstupného výkonu signálu na základe informácie získanej iba z portu 3, bez potreby zásahu do daného obvodu. Nasledujúca rovnica definuje hodnotu signálu na väzobnom porte smerovej odbočnice:

$$C = 10 \log \frac{P_1}{P_3} = -20 \log |S_{13}| \quad [dB] \quad (1)$$

kde  $P_1$  predstavuje hodnotu výkonu vstupného signálu a  $P_3$  predstavuje hodnotu výkonu na väzobnom (výstupnom) porte. Smerovú odbočnicu je možné vyrobiť vhodným technologickým procesom, vzhľadom na jej využitie, frekvenčný rozsah alebo podľa toho akým spôsobom má byť prerozdelený výkon medzi výstup a väzobný port. Avšak všetky konvenčné technológie sú založené na rovnakom princípe prenosu energie zo vstupu na výstup. Z tohto dôvodu hodnota signálu na väzobnom porte nebude veľmi závisieť na procese výroby, ale skôr od frekvenčne závislých parametrov ako napr. šírka pásma, resp. oblasť frekvencií kde daná smerová odbočnica vykazuje najlepšie vlastnosti.

#### B. Izolácia (*I- Isolation*)

Dôležitým parametrom je izolácia, ktorá vyjadruje mieru oddelenia vstupného a oboch výstupných (výstupného a väzobného) portov od štvrtého izolovaného portu. Určovanie hodnoty izolácie sa realizuje pri definovanom zakončení výstupných portov. Najčastejšie sa používa zakončenie v



podobe  $50 \Omega$  rezistorov. Vyjadrenie v podobe rovnice 2 predstavuje definíciu hodnoty izolácie danej smerovej odbočnice.

$$I = 10 \log \frac{P_1}{P_4} = -20 \log |S_{14}| \quad [dB] \quad (2)$$

### C. Smerovosť (D- Directivity)

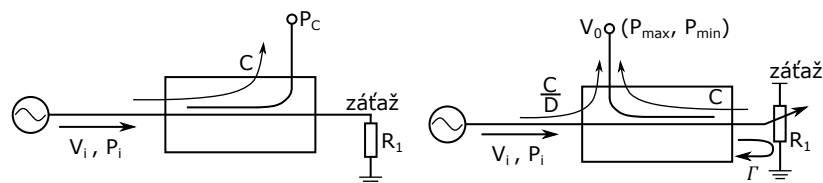
Smerovosť je schopnosť smerovej odbočnice preniesť signál o danom výkone zo vstupu na väzobný port a potlačiť signál odrazený späť do výstupného portu (port 2). Z iného pohľadu môžeme hovoriť o parametri, ktorý definuje technickú kvalitu a kvalitu technológie výroby danej smerovej odbočnice. Samozrejme, čím väčšia hodnota tohto parametra, tým vyššia kvalita daného prvku. Vyjadrenie v podobe rovnice 3 predstavuje definíciu hodnoty smerovosti danej smerovej odbočnice.

$$D = 10 \log \frac{P_3}{P_4} = -20 \log \frac{|S_{31}|}{|S_{14}|} \quad [dB] \quad (3)$$

Podiel  $P_3/P_4$  rovnako ako aj v predošlých rovniciach 1 a 2 podiel  $P_1/P_4$  označujú podiel hodnôt výkonov na jednotlivých portoch smerových odbočníc. Smerovosť je možné tiež definovať ako schopnosť smerovej odbočnice izolovať priamu a odrazenú vlnu signálu. Hodnota smerovosti môže byť vyjadrená nasledovne:

$$I = D + C \quad [dB] \quad (4)$$

kde  $I$  predstavuje izoláciu,  $D$  (Directivity) smerovosť a  $C$  (Coupling) väzbu medzi jednotlivými portami.



Obr. 3 Meranie smerovosti smerovej odbočnice

Vo všeobecnosti nie je možné realizovať priame merania smerovosti danej smerovej odbočnice, z dôvodu, že malé hodnoty signálov vykazujú isté odchýlky pri meraniach a zároveň sa tu môže prejavovať efekt maskovania, kedy je signál s nízkou hodnotou maskovaný s interagujúcim odrazeným signálom z výstupného portu. Avšak istým spôsobom [7] je možné čiastočné merania realizovať. Možný smer akým sa uberať pri meraní smerovosti naznačuje obr. 3, kde je využité prispôbenie výstupného portu pomocou rezistora resp. normálu a v druhom prípade je pripojený rezistor na vstupnom porte, ktorý predstavuje vnútorný odpor zdroja signálu.

Je dôležité spomenúť, že zmena hodnoty nastaviteľného rezistora prináša so sebou zmenu fázového posunu signálu, ktorý je odrazený späť do väzobného portu. Vo výsledku tento fázový posun predstavuje určité rozdiely medzi signálom, ktorý sa na väzobnom porte objaví raz zo strany zdroja signálu a raz zo strany výstupného portu, teda ako jeho odrazená verzia. Potom minimálnu a maximálnu hodnotu výkonu na väzobnom porte môžeme získať podľa nasledovných vzťahov:

$$P_{min} = P_i \left( \frac{C}{D} - C|\Gamma| \right)^2, \quad P_{max} = P_i \left( \frac{C}{D} + C|\Gamma| \right)^2 \quad (5)$$

### D. Straty (L- Loses)

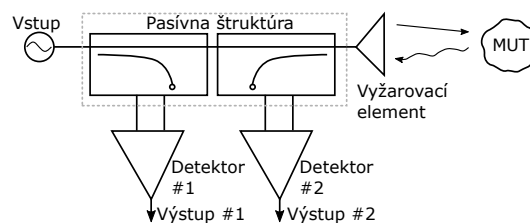
Pokiaľ hovoríme o stratách, v princípe musíme uvažovať o dvoch typoch: vložené straty (Insertion Losses), ktoré je potrebné brať v úvahu v prechodnom smere zo vstupu priamo na výstup a straty medzi vstupom (resp. výstupom) a väzobným výstupom alebo portom (Loses of Coupling). Samozrejme na kvalitu signálu vplývajú aj ďalšie faktory ako sú napr. rozptyl a odarzy, no v tomto prípade nám nevytvádzajú toho viac o kvalite danej smerovej odbočnice ako vložené straty.

#### IV. SMEROVÁ ODBOČNICA V BICMOS TECHNOLOGII

Výskum v oblasti aktívnych smerových odbočníc [8] v dnešnej dobe predstavuje aktuálny a často diskutovaný problém. Pre dosiahnutie vhodných parametrov danej smerovej odbočnice, pri jej implementácii na kremíkový substrát, je potrebné upustiť od konvenčných zaužívaných metód. Autori aktuálnych vedecko- výskumných štúdií sa prikláňajú k využitiu bežne dostupných obvodo- vých prvkov pomerne jednoducho realizovateľných dostupnými technologickými postupmi. Môžu to byť napr. rezistorové siete v spojení s aktívnymi prvkami, napr. zosilňovačmi [6], alebo využitie kapacitných diód, cievok (TAI's- Tunable Active Inductors) a kondenzátorov [4], [3].

Spomínaný pojem kremíkový substrát je spojený s výrobnou technológiou, v našom prípade 0,35  $\mu\text{m}$  SiGe BiCMOS alebo tiež aj S35D4M5, ktorú pre KEMT poskytuje rakúsky výrobca Austria Microsystems (AMS) [9]. Voľba pre túto technológiu padla hlavne z dvoch dôvodov. Daný technologický proces vzhľadom na aktuálne najmenšiu možnú vyrobenú plochu čipu, ktorú ponúka výrobca AMS, je ekonomicky v celku výhodný. Ďalším rozhodovacím činiteľom bola okrem ďalších výhodných vlastností možnosť realizácie ako analógových tak aj digitálnych štruktúr priamo na jednom substráte, čo je v celku výhodné pri realizácii tzv. zmiešaných obvodo- vých štruktúr [10]. Označenie výrobnéj technológie skratkou S35D4M5 predstavuje jednotlivé metalické a epitaxné vrstvy použité pri výrobe daného čipu.

Realizácia aktívnych štruktúr, ako sú smerové odbočnice, predstavuje v S35D4M5 technológii vhodný smer kam sa uberať pri výskume, čomu nasvedčuje aj nasledujúca podkapitola, kde je načrtnutý koncept aktívnej smerovej odbočnice, ktorú je možné použiť pre širokopásmové aplikácie [11].



Obr. 4 Bloková schéma aktívnej smerovej odbočnice

##### A. Návrh konceptu aktívnej smerovej odbočnice

Z dôvodu implementácie modifikovaných MMCW systémov využívajúcich M-postupnosti do integrovaných štruktúr na jednom čipe, z viacerých dôvodov nastáva potreba realizácie smerovej odbočnice ako integrovaného aktívneho prvku. Nastavením parametrov aktívnej smerovej odbočnice môže byť zmenený pracovný režim, v ktorom môže daný prvok fungovať. Napr. práca [4] pojednáva o smerovej odbočnici, ktorá je schopná pracovať v doprednom alebo spätnom režime. Izolovaný port je možné rekonfiguráciou nastaviť na režim väzobného portu a naopak. Nevýhodnou vlastnosťou z pohľadu využitia takýchto štruktúr v oblasti širokopásmových UWB systémov je pracovná šírka frekvenčného pásma danej odbočnice. Tento nedostatok je opísaný v [6], kde bol istým spôsobom doplnený o aktívnu smerovú odbočnicu širokopásmový UWB senzor. V tomto prípade bola pasívna štruktúra smerovej odbočnice doplnená o aktívnu časť v podobe detektora, na báze diferenčného nízkošumového zosilňovača, parametrami prispôbeného pre UWB pásmo. Bloková schéma navrhovaného riešenia koncepcie aktívnej smerovej odbočnice je znázornená na obr. 4. Jedná sa o štvorportovú štruktúru založenú na princípe opísanom v [6]. Z pohľadu signálu, na vstupe je jeho časť odklonená späť do prijímača a zvyšok je vysielaný v podobe stimulačného signálu, ktorý pôsobí na skúmaný objekt (MUT). Odrazený iterogovaný prijatý signál je v čo najväčšej miere vedený priamo do prijímača. Výkonové pomery je možné nastaviť vhodnou konfiguráciou použitých smerových prvkov.

#### V. ZÁVER

V tomto článku boli spomenuté základné princípy činnosti a niektoré všeobecné parametre určujúce kvalitatívne vlastnosti smerových prvkov. Na základe teoretických poznatkov bola načrtnutá problematika aktívnych smerových odbočníc, ktorá predstavuje aktuálne nastolený problém z hľadiska implementácie do UWB systémov realizovaných v rámci jednej monolitickéj štruktúry. Ďalej bol opísaný navrhnutý koncept aktívneho smerového prvku na báze integrovanej monolitickéj štruktúry, z ktorého by neskôr mali vzniknúť viaceré verzie pripravené na ich realizovanie a fyzické testovanie s dôrazom pre nasadenie v širokopásmových UWB systémoch.

## POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-15-0692.

## LITERATÚRA

- [1] R. N. Simons, *Coplanar waveguide circuits, components, and systems*. John Wiley & Sons, 2004, vol. 165.
- [2] S. Slovák, *Návrh zákaznických integrovaných obvodov pre UWB aplikácie*. "Technická univerzita v Košiciach", 2017, Písomná časť k dizertačnej práci.
- [3] B. Hur and W. R. Eisenstadt, "Tunable broadband mmic active directional coupler," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 61, no. 1, pp. 168–176, 2013.
- [4] M. A. Abdalla, K. Phang, and G. V. Eleftheriades, "A compact highly reconfigurable cmos mmic directional coupler," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 56, no. 2, pp. 305–319, 2008.
- [5] B. Hur and W. Eisenstadt, "Tunable active directional couplers," Apr. 22 2014, uS Patent 8,704,575. [Online]. Available: <https://www.google.com/patents/US8704575>
- [6] M. Kmec, M. Helbig, R. Herrmann, P. Rauschenbach, J. Sachs, and K. Schilling, "Toward integrated  $\mu$ network analyzer," in *Ultra-Wideband, Short-Pulse Electromagnetics 10*. Springer, 2014, pp. 443–451.
- [7] G. Schafer and R. Beatty, "Method for Measuring the Directivity of Directional Couplers," *IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 6, no. 4, pp. 419–422, 1958.
- [8] S. Gruszczynski and K. Wincza, "Generalized Methods for the Design of Quasi-Ideal Symmetric and Asymmetric Coupled-Line Sections and Directional Couplers," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 59, no. 7, pp. 1709–1718, July 2011.
- [9] Datasheet AS5045, "Austria microsystems," *Revision*, vol. 1, p. 18, 2004.
- [10] S. Slovák and P. Galajda, "Electronically Controlled RF Switch for UWB Applications," *Proceedings of the 17th International Conference on Research in Telecommunication Technologies 2015*, pp. 25–28, September 9–11 2015.
- [11] M. Kmec, P. Galajda, R. Herrmann, K. Schilling, and S. Slovák, "Integrated wideband reflectometer with on-line reference measurement capability," in *2016 26th International Conference Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA)*. IEEE, 2016, pp. 83–86.

# Visualization of textual data

<sup>1</sup>Ján MAGYAR, <sup>2</sup>Ján GENČI

<sup>1,2</sup> Department of Computers and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>jan.magyar@student.tuke.sk, <sup>2</sup>jan.genci@tuke.sk

**Abstract** — The growing amount of available data has given rise to new problems in their processing. This paper discusses the possibilities of using text mining to process metadata of academic papers from the biomedical domain focusing on the topic of breast cancer research between the years 2012 and 2015. We introduce the basic text mining method enabling the processing of data by computers. The paper includes a discussion on the available database technologies that can be used for storing the processed data, focusing on the various advantages of graph databases over traditional relational databases. We also explore ways of visualizing data in a way that supports acquiring new information on the observed set of data and use various technologies to visualize the connection between keywords that describe the content of the processed academic papers.

**Keywords** — data visualization, graph databases, named entity recognition, natural language processing, text mining

## I. INTRODUCTION

The number of research papers in the biomedical field grows every year. Data in research is produced so rapidly that keeping up to date with advancements only by reading the available literature has become impossible. This phenomenon can be observed in other scientific fields and so, new methods for processing the published textual data have been developed. More and more, researchers turn to automated literature mining to interpret and understand the outcome of various research [1].

Another big challenge in the efficient processing of the data hidden in research papers is their storage on computers in a way that would enable their further analysis. In this regard, traditional relational databases were proven to provide unsatisfactory possibilities and performance [2].

The final stage in understanding data is visualization and allowing researchers or other users to interpret the provided view on the data to gain new information. Data visualization has become a quickly developing field of study because the need to efficiently represent data in order to enhance people's understanding of it is becoming ever more important.

### A. Text mining

Textual data, research papers and other documents often hold information in an unstructured way, while the successful analysis of data requires the observed set of data to be structured. The desired pieces of information are available from the texts, but it is hard and in some cases even impossible to get them using computer methods.

Marti Hearst in [3] defines text mining as “the discovery by computer of new, previously unknown information, by automatically extracting and relating information from different written resources, to reveal otherwise ‘hidden’ meanings”. In the case of academic research papers, the methods of text mining can be used to find connections between different papers and to observe trends in research. The process of text mining can be divided into four distinct phases shown on Fig. 1 [1].

#### 1) Information retrieval

**Information retrieval (IR)** describes the retrieval of relevant resources for a given subject of interest [1]. The typical implementation of this step is querying bibliographic databases with a set of keywords. These queries can be automatically expanded based on the meaning of the used keywords (e.g. by including the keywords' synonyms in the queries) [4]. In the biomedical domain, the most often used bibliographic database is PubMed that provides abstracts of research papers. At the writing of this paper, PubMed contains information on over 26 million citations for biomedical literature [5].

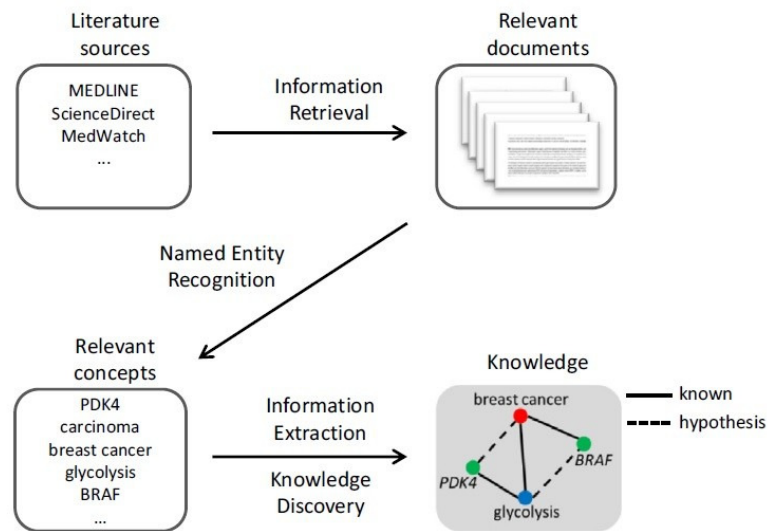


Fig. 1. Phases of text mining for deriving new pieces of information from a dataset [1]

### 2) Named entity recognition

After the retrieval of relevant information, the phase of **named entity recognition** (NER) follows. A named entity is a keyword clearly identifying an item or concept [6]. The need for NER stems from the different naming habits of the same concepts. The terminology used by researchers differs, and even the same author can use multiple terms in his publications or just in one paper. NER can bridge the differences in the naming habits by linking the used keywords to the concept they describe. For this task, ontologies are used that describe the meaning of keywords and also provide information on synonyms, antonyms and other relationships within the domain specific information.

### 3) Information extraction

Once a structured representation of the processed data is available, the phase of **information extraction** (IE) can be realized. It is used to detect links between keywords and concepts mentioned in the text [7]. By linking the concepts together, we provide further context to them and thus enable deeper analysis of the dataset. IE methods can be categorized into two groups: co-occurrence-based methods and natural language processing (NLP) based methods. Co-occurrence-based methods build on the assumption that two concepts often occurring together are related. For example, if in a set of research papers two keywords are often used together within papers, we can presume that there is a link between them. NLP methods use knowledge on the structure of language and how the domain-specific information is mentioned in the literature to find relations between concepts considering their context in the text. Since NLP methods are useful only in detecting specific types of relationships, the number of links they find is limited compared to co-occurrence-based methods, although the precision of the found relations is usually bigger.

### 4) Knowledge discovery

The final step in text mining is **knowledge discovery**. It is used to describe the use of information extraction iteratively over a dataset [1]. This way, text mining systems are useful in finding new relations between keywords and concepts based on facts derived from the literature. Knowledge discovery is based on the ABC principle that states if two concepts A and C are never mentioned together, but both are mentioned together with the same set of concepts B, they are indirectly related.

## B. NoSQL databases

Although traditional relational databases have been used successfully in various scenarios, the emergence of big data and unstructured data created the need for new database technologies that would provide a better solution for storing and working with these new types of data. Such technologies are called NoSQL databases. They show a better performance in managing non-traditional data compared to SQL databases due to freer rules in storing data. While SQL databases strictly support ACID (atomicity, consistency, isolation, durability) properties, NoSQL databases have their own rules in guaranteeing them. NoSQL database systems can be divided into column-based, document-based, key-value and graph databases.

Graph databases were designed and implemented to enable a more intuitive and effective storage of highly connected data [8]. In contrast to relational databases, graph databases consist of nodes and edges instead of relations (tables). This solution offers direct indexing and connections between two pieces of data, thus providing quicker querying. In traditional SQL

databases, connection between two records is represented through foreign keys. To connect the records within a query, the JOIN operation must be used. In graph databases, thanks to the direct connection of records, the related data can be collected more easily.

Graph databases were the subject of research where their possible use in bioinformatics was explored. In the case of protein-protein interactions with 20.140 proteins and 2.2 million interactions, a significant speedup for graph databases over relational databases was observed [9].

### C. Data visualization

The methods of text mining are effective in processing textual information by computers, but there still is a need for showing the acquired new insights to people. Data visualization addresses this problem. A number of different visualization techniques exist that are more suitable to specific types of data. In the case of textual information, the unstructured nature of the processed data makes successful visualization harder. For a set of texts, usually two basic views must be provided to provide a person sufficient knowledge on the observed data.

The first view, a more general one, can help create a basic understanding of the information included in the data, while the other view goes into details and visualizes the connections between the records and concept in the dataset. For texts, the most often used visualizing methods are word clouds and literary networks. Word clouds (Fig. 2 a) are useful for providing a basic understanding of the visualized data, they include the most often used concepts in the dataset. Literary networks (Fig. 2 b) are an effective way of showing the connection between different concepts within the dataset, although they can also be used to provide a general view by limiting the number of visualized concepts.

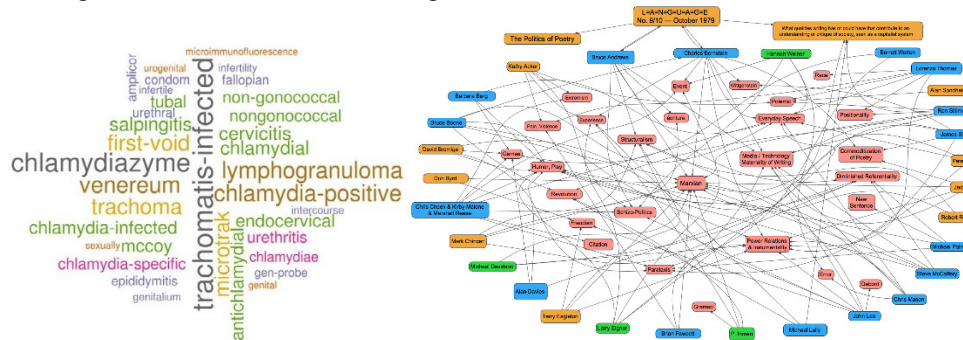


Fig. 2. Visualization of textual data using a) a word cloud to visualize the most used keywords in papers describing *Mycobacterium tuberculosis* [1]; b) a literary network to visualize the topics discussed in the articles from the magazine L=A=N=G=U=A=G=E [10]

## II. PROCESSING THE METADATA

In this paper, we discuss the possibilities of using text mining to find previously unknown connections between keywords describing academic papers on a given topic. For our purposes, we processed metadata on papers concerned with breast cancer from the years between 2012 and 2015. This data is available from different bibliographic databases, but these systems do not provide a general view on the set of academic papers and thus on research. We suggest that processing this metadata can be useful in observing trends in research over the years.

### A. Data acquisition

Metadata was obtained from online bibliographic databases, namely PubMed and Plos ONE. Metadata was also downloaded from the system ScienceDirect, but this metadata was not processed. Papers were selected by entering the keyword “breast cancer” into the search bar of each bibliographic database.

All databases have their own system of providing metadata and they also contain different types of metadata on papers. Because of the difference in the downloaded data, we designed a uniform system of representing metadata for further processing. For the purposes of our system, the following metadata was selected: the paper’s title, list of authors, publication date, journal, issue, volume, DOI identification number and abstract. The data was pre-processed by copying the selected data into a uniform XML structure.

### B. Data processing

The biggest challenge during processing the obtained metadata was named entity recognition that pertains to two types of metadata: keywords and authors’ names. Considering the way with which the used bibliographic databases store information on authors, we came to the conclusion that their successful and precise recognition is not possible. In most cases, only the name of the author was given, which is not sufficient for the goals of named entity recognition.

For keywords, named entity recognition is not only possible, but necessary. Given the differences in describing the same concepts, a system that gathers data from multiple sources must provide its own system of entity naming. Named entity recognition was easier thanks to the naming order used by each individual bibliographic database and the amount of available terminology data in the biomedical field.

Using online terminology databases (Stedman's, MediLexicon and Medical Terminology Database), we built a local terminology database that we used during keyword recognition. The first step in recognizing the keyword was a simple search in the records of the local terminology database. If there was a full search result, the keyword was accepted as a valid term to describe a concept.

Due to the difference in the concepts described in the metadata, finding a one-hundred percent match in the terminology database was rarely possible right away. We had to take into consideration the fact that authors can use the singular (*analysis*) or plural form (*analyses*) of a keyword, or in the case of multi-word keywords, the order of the words could be different (*diagnosis, differential* versus *differential diagnosis*). To eliminate the first type of difference, we used a stemmer to find the most basic form of the used keyword which was also the most probable to appear in the terminology database. For multi-word expressions, the order most natural to people was used in queries in the database. This way, we significantly raised the number of full matches.

Another typical problem for multi-word keywords emerged if they were too specific in describing a given concept, the chance of a full match in the terminology database was low. If this was the case, we tried to find a more general naming for the concept, e.g. *breast neoplasm* instead of *male breast neoplasm*.

If the previously described searches still did not result in a full match, we relied on the naming systems used by the bibliographic databases and presumed that any keyword accepted by them can be considered a valid form of describing a given concept. To quicken the process of mapping keywords into records from the terminology database, a list of mappings was created and maintained during keyword recognition. This way, every keyword had to be mapped only once, on subsequent occurrences, the mapped concept could be loaded from this list right away, sparing a number of queries into the database.

During keyword recognition, synonyms had to be targeted as well. In these cases, multiple valid naming conventions existed for describing the same concept. The terminology databases we used provided a list of synonyms for many terms, so recognizing synonyms was possible. The use of synonyms in the processed data was eliminated by mapping the different keywords into one and that by counting the number of occurrences for each of them, retaining the keyword with the most occurrences and forwarding the relationships of its synonyms to it. This step was performed only once the metadata was stored in a database because it allowed an easier execution of the code.

### III. STORING THE METADATA

To show the difference in the performance of SQL and NoSQL databases, the processed metadata from the system PubMed for the year 2012 was loaded into two databases. The SQL database for storing the metadata was designed using the traditional relational model and can be seen on Fig. 3 a.

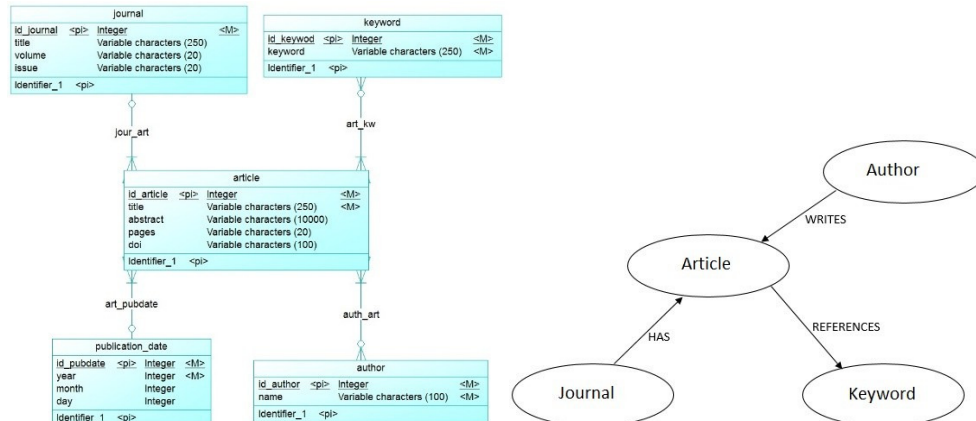


Fig. 3. Model for storing the metadata in a) an SQL database b) a Neo4J graph database

For a NoSQL database, the graph database system Neo4J was used. It is a freely available database system with enough storage space for our purposes (within one database, it can store up to 35 billion nodes). It uses the Property Data Graph Model for designing a database in which each piece of data is either a node, an edge, or possibly their attribute. The database

model can be seen on Fig. 3 b. The main difference between these two databases is that the SQL database contains the full abstracts of the papers, and while publication date was stored in its own relation in the SQL database, in the graph database it became an attribute of Article nodes.

As expected, the SQL database performed worse when querying the processed metadata. A significant difference in speed was observed in loading the data, but it can be attributed to the fact that the graph database did not contain the full abstracts of the papers. The speedup in querying was caused by the use of direct references in the graph database that eliminated the need for the slow and high-cost JOIN operation.

#### IV. DATA VISUALIZATION

From the processed metadata, we wanted to visualize the relationships between different keywords to enable the discovery of new information. For this purpose, visualization by a literary network was chosen. In such a network (it can be considered a graph), the keywords are represented as nodes and they are connected by an edge only if they are both mentioned in the metadata of the same article. Such a visualization can also provide further information on the keywords, such as the number of occurrence and co-occurrences with other keywords. This type of visualization was created using three technologies: Neo4J's own visualization platform; Gephi, a software for visualizing graphs; and an own visualization platform implemented using the D3 JavaScript library.

##### A. Visualization in Neo4J

Unlike other graph database systems, Neo4J provides a platform – the Neo4J browser – for visualizing the data stored in a database. This browser visualizes the results of a query executed in the database. Its main disadvantage is that it can only visualize nodes and edges from the database, there is no option to visualize aggregate information or merge edges. Because of that, considering the database model from Fig. 3 b, the proposed visualization is only possible if we also show the nodes representing the articles in which the two keywords are mentioned – see Fig. 4 (keywords are shown as yellow nodes, blue nodes represent articles).

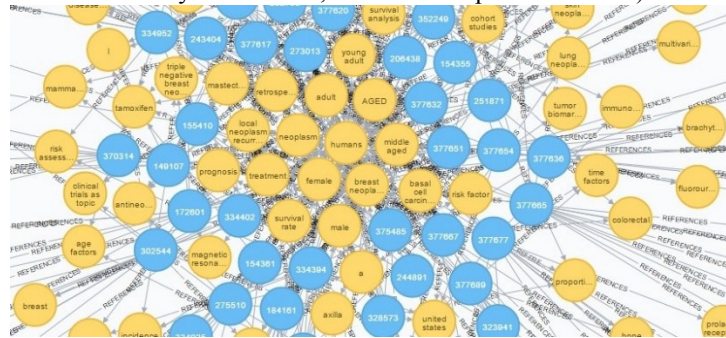


Fig. 4. Visualizing the relationships between keywords in Neo4J

##### B. Visualization using Gephi

Gephi is a freely available software for visualizing graphs. It provides statistical and analytical methods applicable to the visualized graph, which is its main advantage. On the other hand, considering the limited memory available to the program, we experience a slowdown whenever we want to visualize a bigger set of connected data. Another disadvantage of Gephi is that it doesn't allow a direct connection to a database from which the data to be visualized can be read, so the view on the data is static and doesn't support any sort of interaction with the user. Also, at a big number of nodes and edges, it is impossible to get a useful view on the data, the discovery of new relationships is troublesome. We only get a partial view on the data, as shown on Fig. 5.



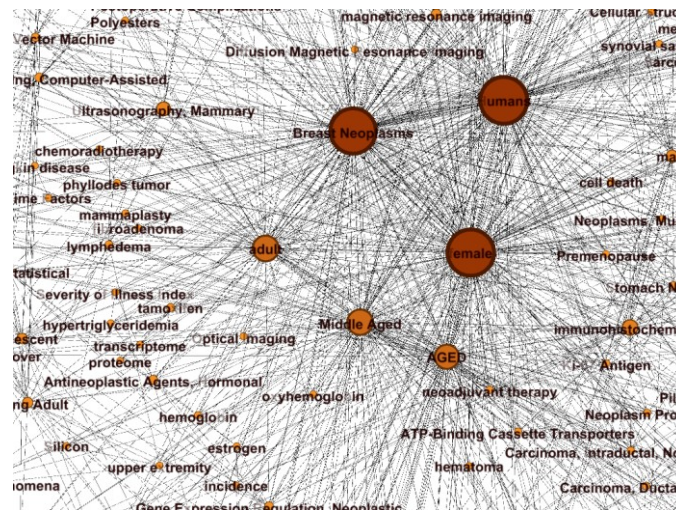


Fig. 5. Keyword visualization using Gephi

### C. Visualization using D3.js

D3.js is a JavaScript library that enables the visualization of different types of data, but it is focused on connected data. Since it is only a tool with which visualizations can be created, a wide range of possible visualizations is possible and interactivity with the user can also be defined. The platform implemented by us provides a view (Fig. 6) on any selected keyword by showing the 100 most connected keywords – the keywords with which the selected keyword is mentioned together the most often. The size of every node reflects the number of times the keyword is mentioned in all articles. The table next to the graph contains all keywords co-occurring with the selected keyword with the exact number of the keywords' mentions and co-occurrences.

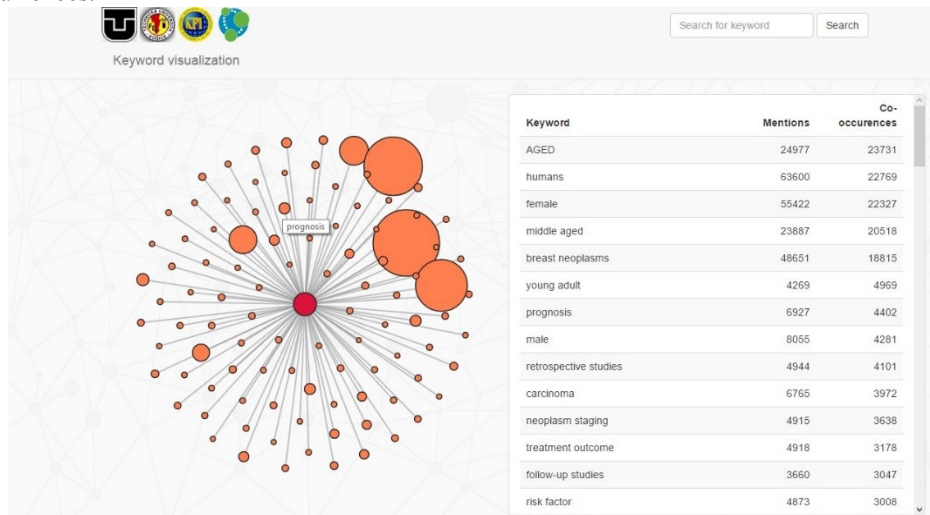


Fig. 6. Visualization using D3.js

The platform also allows the querying of the processed metadata, since it is directly connected to the Neo4J database. A search is implemented as search of a substring, meaning that the results are shown as a list of every keyword that contain the string entered by the user. A general view on the dataset is provided by a similar list that contains the twenty-five most often mentioned keywords. This list serves as the main page of the platform.

## V. CONCLUSION

As the paper shows, we successfully used text mining methods to process a set of metadata describing textual data – academic papers. We proposed a simple algorithm to recognize keywords and create a uniform system of naming concepts within the metadata. We compared SQL and graph databases by their suitability for storing heavily connected data, showing that traditional SQL databases perform worse than graph databases. We presented multiple technologies for visualizing the processed data and implemented a new platform using the D3.js library. The work described in this paper can be further developed by processing more data and by adding new functionality to the implemented platform.

## REFERENCES

- [1] Fleuren, Wilco W.M. and Alkema, Wynand, 2015, Application of text mining in the biomedical domain. *Methods*. 2015. Vol. 74, p. 97-106. DOI 10.1016/j.ymeth.2015.01.015W.-K. Chen, *Linear Networks and Systems* (Book style). Belmont, CA: Wadsworth, 1993, pp. 123–135
- [2] Gundla, Naresh Kumar and Chen, Zhengxin, 2016, Creating NoSQL Biological Databases with Ontologies for Query Relaxation. *Procedia Computer Science*. 2016. Vol. 91, p. 460-469. DOI 10.1016/j.procs.2016.07.120
- [3] Hearst, Marti A., 1999, Untangling text data mining. *Proceedings of the 37th annual meeting of the Association for Computational Linguistics on Computational Linguistics* -. 1999. DOI 10.3115/1034678.1034679. Association for Computational Linguistics
- [4] Badger, Edward, 2008, Techniques for analyzing literature search results. *World Patent Information*. 2008. Vol. 30, no. 4, p. 326-334. DOI 10.1016/j.wpi.2008.01.008
- [5] Help, PubMed, 2017, PubMed Help. *Ncbi.nlm.nih.gov* [online]. 2017. [Accessed 16 May 2017]. Available from: [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK3827/#pubmedhelp.PubMed\\_Quick\\_Start](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK3827/#pubmedhelp.PubMed_Quick_Start)
- [6] Erhardt, Ramón A-A., Schneider, Reinhard and Blaschke, Christian, 2006, Status of text-mining techniques applied to biomedical text. *Drug Discovery Today*. 2006. Vol. 11, no. 7-8, p. 315-325. DOI 10.1016/j.drudis.2006.02.011
- [7] Zhu, Fei, Patumcharoenpol, Preecha, Zhang, Cheng, Yang, Yang, Chan, Jonathan, Meechai, Asawin, Vongsangnak, Wanwipa and Shen, Bairong, 2013, Biomedical text mining and its applications in cancer research. *Journal of Biomedical Informatics*. 2013. Vol. 46, no. 2, p. 200-211. DOI 10.1016/j.jbi.2012.10.007
- [8] Hopkins, Matthew and Powell, James, 2015, *A Librarian's Guide to Graphs, Data and the Semantic Web*. 1
- [9] Have, C. T. and Jensen, L. J., 2013, Are graph databases ready for bioinformatics?. *Bioinformatics*. 2013. Vol. 29, no. 24, p. 3107-3108. DOI 10.1093/bioinformatics/btt549. Oxford University Press (OUP)
- [10] Vidani, Peter, 2017, [NetCult] Strength of Weak Ties. *Network Culture // [DSS] [PENN] [712.006]* [online]. 2017. [Accessed 16 May 2017]. Available from: <http://sign-up-and-start-posting.tumblr.com/post/377035079/netcult-strength-of-weak-ties>

# Vývoj prototypu modulárneho výkonového meniča

<sup>1</sup>Milan BIROŠ, <sup>2</sup>František ĎUROVSKÝ

<sup>1,2</sup>Katedra elektrotechniky a mechatroniky, Fakulta Elektrotechniky a Informatiky, Technická Univerzita v Košiciach

<sup>1</sup>milan.biros@tuke.sk, <sup>2</sup>frantisek.durovsky@tuke.sk

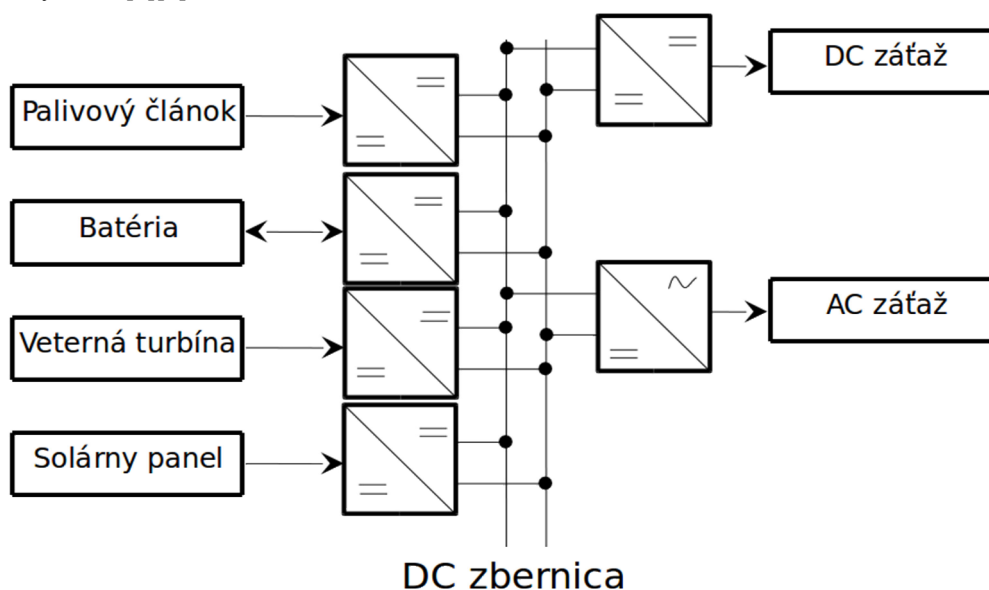
**Abstract** — Práca je venovaná návrhu modulárneho multiport výkonového meniča. V úvode obsahuje krátky opis problematiky a porovnanie klasických meničov s multiport meničmi. V rámci práce bola navrhnutá topológia modulárneho meniča.

**KLúčové slová** — multiport, výkonový menič, mikrosiete

## I. ÚVOD

S rastúcim podielom využívania obnoviteľných zdrojov energie ako palivové články, fotovoltaické panely, batériové systémy, atď. v rôznych aplikáciách, rastie aj dopyt po vhodnom systéme konverzie energie, ktorý by umožňoval vzájomné prepojenie týchto zdrojov. Hlavnou nevýhodou rôznych zdrojov energie a spotrebičov v jednej sieti sú ich rozdielne výstupné/napájacie napätia. Spôsobov zapojenia viacerých zdrojov je niekoľko. Keďže z hľadiska koncepcie multiport meniča nie je podstatné, či pripojený komponent je zdrojom, alebo spotrebičom, v ďalšom texte ich budeme označovať iba ako zdroje.

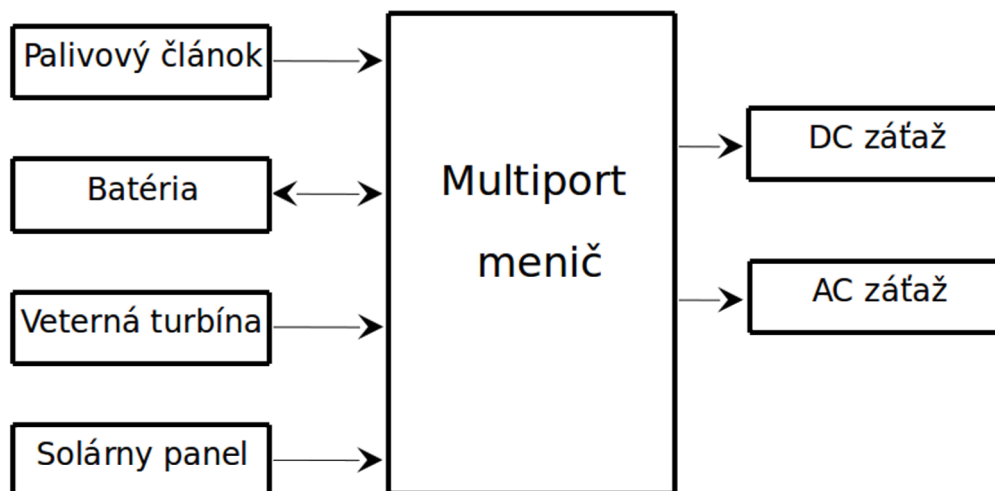
Najpoužívanejšou metódou pre vzájomné prepojenie viacerých zdrojov v jednej sieti je využitie niekoľkých DC/DC alebo DC/AC meničov pripojených k spoločnej DC alebo AC zbernici. Táto topológia, uvedená na obrázku 1. Využíva viacnásobné konverzie elektrickej energie. To znamená, že energia zo zdroja energie musí byť konvertovaná na úroveň zbernice a následne opäť na úroveň napájacieho napätia spotrebiča. Hlavnou nevýhodou tohto riešenia je znížená účinnosť spôsobená práve týmito násobnými konverziami, pretože v ceste prúdu je násobný počet spínačov. Tento fakt má samozrejme vplyv aj na veľkosť, hmotnosť a cenu celého systému [1][2].



Obr. 1. Tradičná topológia

Ďalším spôsobom prepojenia viacerých zdrojov energie je využitie multiport meniča (Obr. 2.). Multiport menič je menič, ktorý má niekoľko vstupov/výstupov (ďalej už len port) a umožňuje riadiť tok energie medzi ktorýmkoľvek dvoma portami priamo, v rámci jednej konverzie. V aplikáciách s rôznymi úrovňami napätia na portoch je takáto konverzia možná

s využitím viacvinutového transformátora. Menič teda nevyužíva jednosmernú zbernicu, ale porty sú vzájomne prepojené pomocou magnetickej väzby transformátora.



Obr. 2. Multiport menič

## II. POROVNANIE ŠTANDARDNEJ TOPOLOGIE A MULTIPORTU

V mikrosieťach s využitím obnoviteľných zdrojov energie môžu nastať situácie, pri ktorých nastane prebytok energie v sieti. Tú je nutné buď uložiť v lokálnom úložisku, napr. batérií, alebo dodávať do rozvodnej siete. Z tohto dôvodu musí byť minimálne jeden z portov meniča obojsmerný. V princípe, všetky porty multiport meniča môžu byť obojsmerné a teda nie je nutné primárne definovať jeho vstupy a výstupy. To je aj dôvodom, prečo sa daný menič nazýva multiport a nie multi-vstupový, alebo multi-výstupový [2][4].

Multiport topológia disponuje radou výhod, v porovnaní so štandardnou štruktúrou s využitím spoločnej zbernice. Hlavnou je redukovanie spínačov a počtu konverzií. Redukcia počtu spínačov znižuje spínacie straty a takto zvyšuje účinnosť celého systému. Multiport meniče sľubujú úspory aj z hľadiska ceny, kompaktnosti. Navyše umožňujú centralizované riadenie celého systému. Na druhej strane sa vyznačujú vyššou komplexnosťou a teda zvyšujú nároky na dizajn. Bližšie porovnanie multiportu a štruktúry viacerých meničov s využitím DC zbernice je uvedené v tabuľke 1.

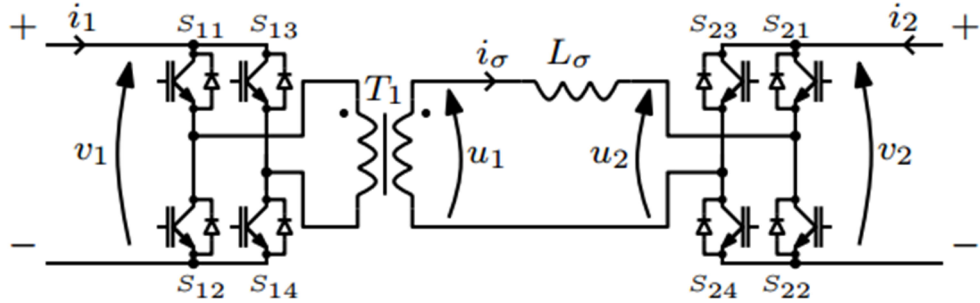
Tab. 1. Porovnanie Klasickej Topológie a Multiportu

	Klasická topológia	Multiport topológia
Spoločná zbernica	Áno	Nie
Konverzie	Viacnásobné	Redukované
Riadenie	Lokalizované	Centralizované
Manažment toku energie	Komplikovaný	Jednoduchší, rýchlejší
Transformátor	Viacero transformátorov	Jeden viacvinutový/ Viacero v sérii
Polovodičové spínače	Násobný počet	Polovičný počet

## III. NAVRHOVANÝ MULTIPORT MENIČ

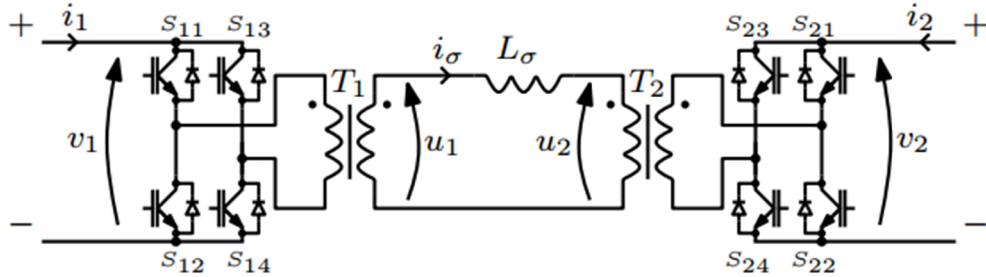
Naša práca je zameraná na vývoj multiport meniča, určeného pre elektrické a hybridné vozidlá, a domáce mikrosiete. Hlavný dôraz je kladený na modularitu takéhoto meniča. Modularitou rozumieme možnosť meniť niektoré parametre meniča, napr. počet portov, výkon, využitie portov, atď., s minimálnym zásahom do celkového systému. Z tohto dôvodu pre nás nie je vhodné využívať ako základ meniča viacvinutový transformátor. Ten je nutné totiž navrhnuť presne pre konkrétnu aplikáciu. Pridávanie a odstraňovanie vinutí takéhoto transformátora má vplyv na celý zvyšok systému a zásadne mení jeho parametre. Napríklad zväčšovanie vzduchovej medzery mechanickou úpravou jadra spôsobuje nárast rozptylovej indukčnosti, čo má za následok zníženie účinnosti transformátora. Pridávanie vinutí môže naraziť na geometrické limity jadra. Navyše, jadro transformátora musí byť navrhnuté na maximálny výkon systému. Pri potrebe navýšiť celkový výkon systému je nutné vymeniť celé jadro. Z tohto dôvodu je pre našu aplikáciu s veľkým dôrazom na modularitu nevhodné využitie viacvinutového transformátora.

Náš návrh multiport meniča predpokladá využitie aktívnych mostíkov (Active Bridge – AB). Pri využití aktívnych mostíkov pre dvojportovú aplikáciu (napr. DC/DC menič) hovoríme o duálnom aktívnom mostíku (DAB – Dual Active Bridge). Príklad DAB pre DC/DC konverziu je uvedený v obrázku 3. DAB predstavuje v podstate jednosmerný transformátor, kde na vstupnej strane je H-mostík, slúžiaci ako striedač a na výstupnej strane je rovnaký mostík, ktorý slúži ako usmerňovač. Pri použití plných mostíkov je možné zabezpečiť obojsmerný tok energie.

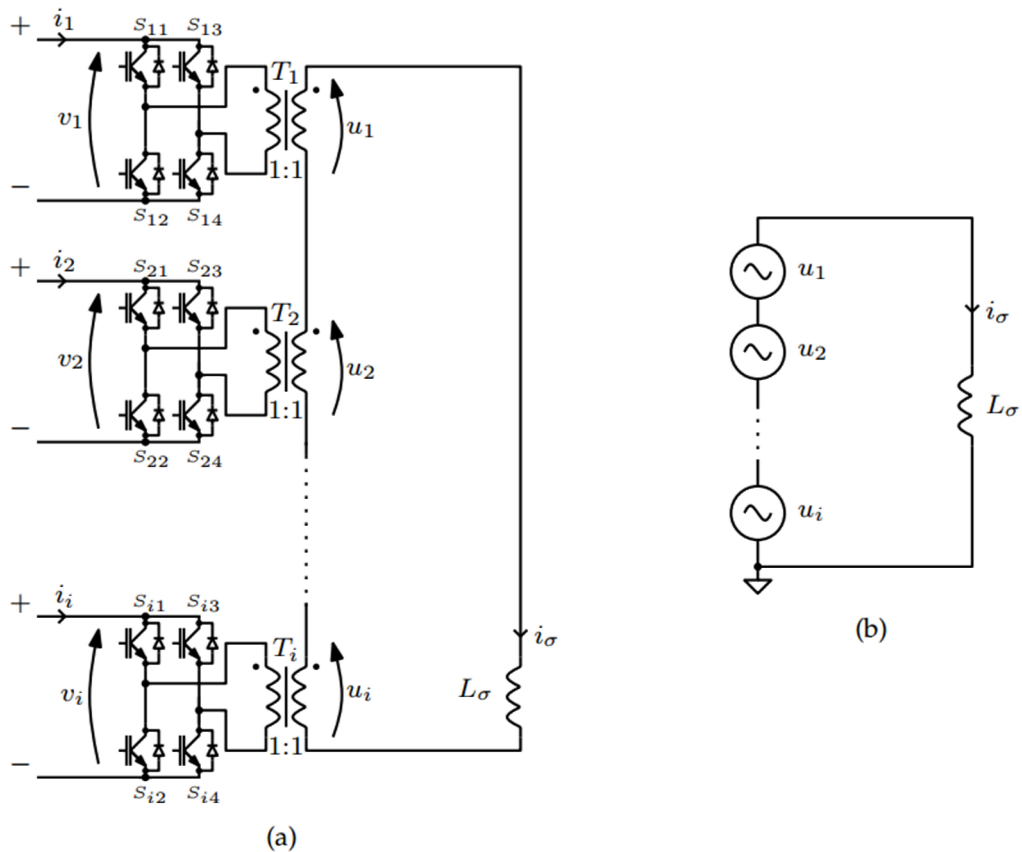


Obr. 3. DAB menič

DAB z obrázku 3. je možné rozšíriť o ďalší transformátor T2, zapojením jeho primárneho vinutia do série so sekundárnym vinutím transformátora T1 (Obr. 4.). Pri zachovaní celkového transformačného pomeru sa jeho funkcionalita nemení.



Obr. 4. Rozšírenie DAB o ďalší transformátor



Obr. 5. Multiport s využitím AB ((a) fyzická chéma, (b) náhradná schéma)

S využitím tohto princípu je následne možné do obvodu meniča radiť ľubovoľný počet transformátorov a teda zvyšovať, alebo znižovať počet portov meniča (Obr. 5. (a)). Každý port tohto meniča sa v náhradnej schéme dá nahradiť samostatným napäťovým zdrojom (Obr. 5. (b)). Maximálny výkon prenášaný jednotlivými transformátormi je daný iba maximálnym výkonom príslušajúceho zdroja. Vďaka tomu je možné navrhnúť transformátor pre konkrétny zdroj, bez ohľadu na ostatné zdroje zaradené v systéme. Vďaka tomu je možné spĺňať podmienku modularity.

Okrem modularity je pre nás dôležitá aj cena a hmotnosť systému. Z obrázku 3. je vidieť, že na zabezpečenie obojsmerného toku energie medzi dvoma zdrojmi s rozdielnym napätím je nutné využiť 1 transformátor a 8 spínačov. Ak by systém obsahoval  $n$  zdrojov, ktoré by boli pripojené k jednosmernej zbernici pomocou DAB meničov, tak by bolo nutné využiť  $8n$  spínačov a  $n$  transformátorov. Ako je vidieť na obrázku 5., náš menič na prepojenie  $n$  zdrojov vyžaduje iba  $n$  transformátorov a  $4n$  spínačov. Redukcia počtu spínačov má za následok zníženie ceny. Pre dosiahnutie nízkej hmotnosti budú využité planárne transformátory. Tie disponujú nízkymi stratami v železe. Planárne jadro je taktiež jednoduchšie chladiť. Využitie planárneho EI jadra taktiež zabezpečí kompaktné rozmery meniča.

Úlohou predstavovaného meniča je manažovanie prelievania energie viacerých zdrojov, uvedených v tabuľke 2.

Tab. 2. Zdroje pre predstavovaný multiport menič

	Max. výkon [W]	Pracovné napätie [V]
Batéria	300	10-14
Palivový článok	720	20-45
Solárny panel	240	29-36
Sieť	-	220~
Záťaž (synchronný motor)	3000	3x83~

#### ZÁVER

Predstavovaný návrh meniča má potenciál spĺňať všetky zo zadaných cieľov. Využitie DAB zabezpečí vysokú úroveň modularity, planárne transformátory nižšiu hmotnosť a rozmery. Redukcia počtu spínačov a konverzií zvýši účinnosť prenosu energie.

Nasledujúca práca sa bude sústrediť na vývoj pokročilej riadiacej metódy, ktorá bude umožňovať presné riadenie toku energie s vysokou dynamikou.

#### REFERENCIE

- [1] Neng Zhang, Danny Sutanto, Kashem M. Muttaqi, A review of topologies of three-port DC–DC converters for the integration of renewable energy and energy storage system, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 56, April 2016, Pages 388-401, ISSN 1364-0321, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.079>.
- [2] Atul Kumar, Purna Gaur: Operation of DC/DC Converter for Hybrid Electric Vehicle. *International Journal of Electronic and Electrical Engineering*, vol. 7, no. 4, pp. 335-340, 2014
- [3] H. Tao, A. Kotsopoulos, J. L. Duarte and M. A. M. Hendrix, "Family of multiport bidirectional DC-DC converters," in *IEE Proceedings - Electric Power Applications*, vol. 153, no. 3, pp. 451-458, 1 May 2006. doi: 10.1049/ip-epa:20050362
- [4] S. O. Tatu, A. Serban, M. Helaoui and A. Koelpin, "Multiport Technology: The New Rise of an Old Concept," in *IEEE Microwave Magazine*, vol. 15, no. 7, pp. S34-S44, Nov.-Dec. 2014. doi: 10.1109/MMM.2014.2356149
- [5] TANA, Linlin; YANG, Xu; YUWEN, Dian. Optimization design of planar transformer in DC-DC converter. 2016.
- [6] A. T. Mahamat, B. Danoumbé, M. Youssef, J. P. Chatelon, S. Capraro and J. J. Rousseau, "Optimization of integrated magnetic planar transformer," *2016 18th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'16 ECCE Europe)*, Karlsruhe, 2016, pp. 1-8. doi: 10.1109/EPE.2016.7695386

# Analýza off-grid siete s obnoviteľnými zdrojmi

Marián KLEŠČ, Dušan MEDVEĎ

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

Marian.Klesc@student.tuke.sk, Dusan.Medved@tuke.sk

**Abstrakt** — Tento príspevok sa zaoberá analýzou off-grid elektrickej siete, v ktorej sú naimplementované obnoviteľné zdroje v kombinácii s konvenčnými zdrojmi a dynamické záťaže. Pre modelovanie off-grid siete boli využité knižnice Simscape Power Systems, ktoré sú nadstavbou programu Simulink. V modeli off-grid siete sú použité pre výrobu elektrickej energie dieselové generátory, fotovoltaické panely a veterná turbína a spotreba elektrickej energie je zabezpečená vhodnými statickými a dynamickými záťažami. V modeli boli merané charakteristické elektrické sieťové veličiny. Na predmetnom modeli off-grid siete bol analyzovaný vplyv rôznych prevádzkových stavov off-grid siete, akými sú napríklad pripojenie záťaže, odpojenie záťaže, zmena účinníka záťaže a zmeny klimatických podmienok, ktoré vplyvajú na výrobu elektrickej energie (fotovoltaický zdroj a veterná turbína).

**Kľúčové slová** — off-grid sieť, dieselgenerátor, fotovoltaické pole, veterná turbína, Simscape Power Systems

## I. ÚVOD

V predmetnom príspevku sú prezentované výsledky simulácie vplyvu rôznych zdrojov elektrickej energie na malú off-grid sieť. Ako zdroje elektrickej energie boli použité dieselgenerátory, fotovoltaické zdroje a veterná turbína. Z pohľadu spotreby elektrickej energie je opísaný vplyv odpojenia alebo pripojenia veľkej záťaže do sústavy a vplyv dynamicky meniacej sa záťaže. Simulovaných bolo viacero obvodov, v ktorých sa overovali niektoré javy vyskytujúce sa v elektrickej sieti. Medzi hlavné sledované veličiny patrila frekvencia siete, napätie v mieste odberu a vyrábaný výkon elektrickými zdrojmi.

Na simulovanie týchto javov bolo použité prostredie Simscape Power Systems, ktoré je rozšírením programu Matlab Simulink. Na základe rozboru simulácií bolo navrhnuté jednoduché riešenie na zníženie vplyvu prechodných javov. Nakoľko boli simulované prechodné javy krátkeho charakteru, t.j. trvali krátku dobu, navrhnuté simulácie simulujú časové pásmo do 1000 sekúnd, čo predstavovalo cca 17 minút. Krátky časový úsek bol zvolený aj z toho dôvodu, aby výsledky, ktoré sú zapísané v maticiach, mali dostatočnú presnosť a aby ich bolo možné spracovať so súčasnou, bežnou výpočtovou technikou.

Ako podklad pre uvedené úvahy boli použité správy od technikov zapojených do združenia IEEE, čo je najväčšia celosvetová organizácia zaoberajúca sa pokrokom v technologickom svete.

## II. POPIS MODELU SIETE V PROSTREDÍ SIMSCAPE POWER SYSTEMS

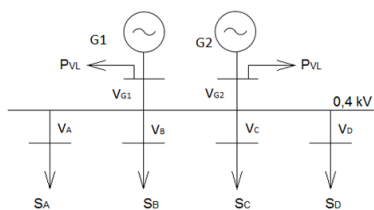
Na základe požiadavky tvorby off-grid siete s naimplementovaním viacerých obnoviteľných zdrojov s fixnými a variabilnými záťažami, bola vytvorená v prostredí Simscape Power Systems schéma, na ktorej boli realizované rôzne prevádzkové stavy, vyskytujúce sa v sieti [8].

## III. VÝPOČTY CHARAKTERISTICKÝCH VELIČÍN V OFF-GRID SIETI

### A. Model ustálenej off-grid siete

Pri modeli ustálenej off-grid siete bolo cieľom poukázať na fakt, že pokiaľ sa v schéme nere realizovali žiadne zmeny a boli nastavené správne inicializačné podmienky, frekvencia siete sa nemení a je rovná 50 Hz. V predmetnom systéme boli zapojené vedenia s veľkými stratami, teda aj hodnoty fázových napätí, pri ustálenom stave na svorkách odberov, boli menšie oproti predpokladaným, konkrétne  $U_{a_A} = 220,5$  V,  $U_{a_B} = 221$  V,  $U_{a_C} = 223,1$  V a  $U_{a_D} = 227$  V.

Odoberaný elektrický prúd závisí od veľkosti záťaže, ktorá je zapojená v odbernom mieste. Činná a jalová záťaž  $PQ$  bola v obvode nemenná.



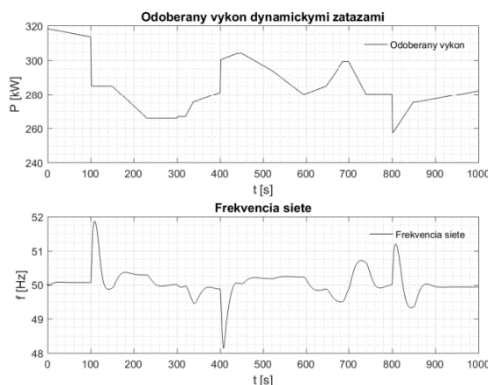
Obr. 1 Schéma modelu ustálenej siete

Tabuľka 1  
 Odbery pre simuláciu ustálenej off-grid siete

	$U$ [V]	odoberaný výkon	účinník $\cos \varphi$	Elektrické vedenie	
				$R$ [ $\Omega$ ]	$L$ [ $\mu\text{H}$ ]
G1, Vlastná spotreba	400	12,5 kW	1	0,0025	11,27
G2, Vlastná spotreba	400	12,5 kW	1	0,0025	11,27
Odber A	400	100 kVA	0,95	0,0402	71,1
Odber B	400	140 kVA	0,95	0,0268	47,4
Odber C	400	180 kVA	0,95	0,0134	23,7
Odber D	400	0	0,95	0,067	118,5

### B. Model off-grid siete s dynamickou záťažou

V tejto časti simulácie bol pozmenený model záťaží. Namiesto záťaží modelovaných konštantnou hodnotou boli použité dynamické záťaže, ktoré boli ovládané externým vstupom. Fungovanie dynamických záťaží je popísané v literatúre [8]. Počas týchto simulácií boli použité opäť dva generátory s nominálnym výkonom 250 kVA a 4 záťaže A, B, C a D, v ktorých boli merané hodnoty fázového napätia a prúdu vo fáze L1 a výkon odoberaný vo fáze L1.



Obr. 2 Odozva frekvencie siete na odoberaný výkon

Na Obr. 2 je uvedený odoberaný výkon dynamickými záťažami. K celkovému odoberanému výkonu je potrebné pripočítať parazitné odbory, teda odbory vlastnej spotreby generátorov ( $2 \times 12,5$  kW) a parazitné odbory k dynamickým odberom ( $3 \times 9,5$  kW + 4,75 kW), ktoré sú čisto odporového charakteru. Tieto parazitné záťaže sú v sústave z dôvodu, že dynamické záťaže a synchronne generátory nemôžu byť v sérii s indukčným elementom trojfázových vedení. Tie sú popísané  $RL$  parametrami, uvedenými v Tab. 2.

Tabuľka 2  
 Rezistencia a indukčnosť vedení v simuláciách s dynamickou záťažou

	$R$ [ $\Omega$ ]	$L$ [ $\mu\text{H}$ ]
G1	0,0025	11,27
G2	0,0025	11,27
A	0,2010	355,50
B	0,0268	47,40
C	0,0134	23,70
D	0,0670	118,50
FV	0,0099	45,10
VET	0,0099	45,10

Pri plynulom poklese, resp. vzraсте odoberaného výkonu, bolo pozorované, že regulátory synchronných generátorov zareagujú na tieto zmeny a dôjde k zníženiu, resp. zvýšeniu produkovaného výkonu synchronnými generátormi, ale nedôjde k vyregulovaniu frekvencie na

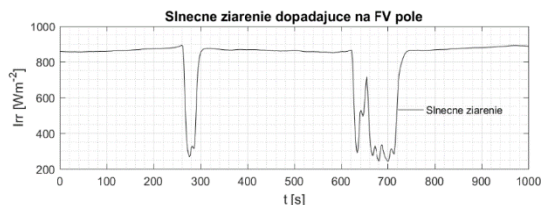


nominálnu hodnotu  $f_n = 50$  Hz. Frekvencia siete tak bude vzhľadom na rýchlosť poklesu/vzrastu odoberaného výkonu krátkodobo ustálená na inej hodnote, v blízkosti nominálnej frekvencie. Túto skutočnosť je možné vidieť aj na Obr. 2. Napríklad v čase od 478 s do času 595 s bola frekvencia siete ustálená okolo hodnoty 50,2 Hz. V čase od 900 s do času 1000 s bola frekvencia siete ustálená na hodnotách v rozmedzí 49,93 až 49,95 Hz.

### C. Model off-grid siete s fotovoltaickým poľom

Vo svete je tendencia k off-grid sieťam, ktoré sú napájané čisto dieselovými generátormi, inštalovať obnoviteľné zdroje elektrickej energie, čím sa zníži spotreba nafty v dieselových generátoroch. Preto boli v predmetnom modeli k simulovanej off-grid sieti pripojené fotovoltaické panely s celkovým špičkovým výkonom 100 kW.

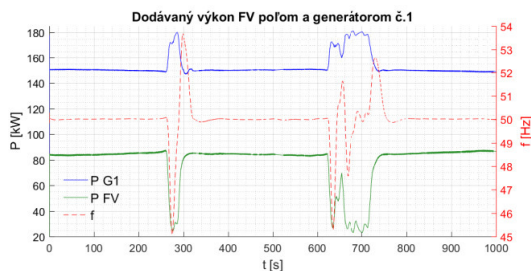
Na Obr. 3 je znázornené slnečné žiarenie dopadajúce na fotovoltaické pole v závislosti od času. Na začiatku simulácie, teda v čase  $t = 0$  s, bolo slnečné žiarenie dopadajúce na FV pole o veľkosti  $857,4993 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ . V čase  $t = 276$  s pokleslo slnečné žiarenie na hodnotu  $266,2146 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ , čo je prvým minimom testovaného slnečného žiarenia. V čase  $t = 700$  s dochádza k druhému minimu slnečného žiarenia o veľkosti  $242,5764 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ . Oba poklesy slnečného žiarenia vznikli v dôsledku zvýšenej oblačnosti. Teplota fotovoltaického článku sa pohybovala okolo  $27^\circ\text{C}$ . Tieto údaje boli namerané v auguste 2013 v rámci hybridného fotovoltaického systému, ktorý prevádzkuje Katedra elektroenergetiky FEI TU v Košiciach v rámci projektu VUKONZE. Predstavujú tak skutočné údaje v podmienkach, pri ktorých je vyrábaná elektrická energia z fotovoltaického poľa.



Obr. 3 Slnečné žiarenie dopadajúce na FV pole

### D. Off-grid sieť s FV poľom a konštantnou spotrebou

Aby bolo najlepšie vidieť odozvu siete na náhly pokles vyrobeného výkonu z FV poľa, pri simulácii s FV poľom boli nastavené konštantné hodnoty záťaží. V tomto prípade sa výkon vyrábaný dieselovými generátormi prispôboval vyrobenému výkonu z FV poľa. Na Obr. 4 je znázornená odozva FV poľa na testované klimatické podmienky, ktoré boli uvedené na Obr. 3. Zároveň je na Obr. 4 znázornená odozva generátora č.1. Generátory č.1 a č.2 sú zapojené sériovo a generátor č.2 vyrába rovnaký výkon ako generátor č.1. Teda, keď vplyvom meteorologických podmienok poklesol vyrábaný výkon z FV poľa o 60 kW, obidva generátory zvýšili svoj výkon o  $2 \times 30$  kW.

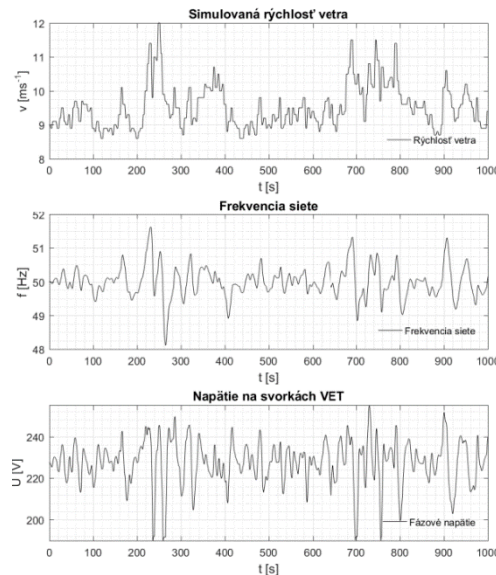


Obr. 4 Priebeh frekvencie siete a dodávaného výkonu FV poľom a generátorom č.1

Z uvedenej simulácie vyplýva, že FV pole síce dokáže vyrábať pomerne veľký výkon, avšak vplyvom zvýšenej oblačnosti môže dôjsť ku krátkodobým výpadkom vo vyrábanom výkone z FV poľa. Simulácia off-grid siete bola realizovaná bez akýchkoľvek pridaných regulátorov, ktoré by riadili sieť na strane záťaží. Ak by takto bola prevádzkovaná off-grid sieť, je pravdepodobné, že kvalita a spoľahlivosť dodávky elektrickej energie by bola obmedzená. V uvedenej simulácii klesla frekvencia siete z 50 Hz až pod hodnotu 46 Hz. Dieselové generátory sú síce schopné pracovať v širokom frekvenčnom pásme, no takýto rýchly pokles frekvencie by mohol byť pre niektoré zariadenia v sústave rizikový.

### E. Model off-grid siete s veternou turbínou, na ktorú pôsobí dynamická rýchlosťou vetra

Na simuláciu obvodu s nárazovým vetrom bol použitý priebeh vetra, ktorý je vyobrazený na Obr. 5. Priebeh vetra, načítavaný z textového súboru, mal v čase  $t = 0$  s hodnotu  $9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , čo je nominálny vietor pre použitú veternú turbínu. Následne, priebeh vetra kolísal okolo tejto nominálnej hodnoty. Vietor dosiahne maximálnu hodnotu  $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Veterná turbína pracuje s vetrom v rozmedzí od  $4,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  po  $12,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .



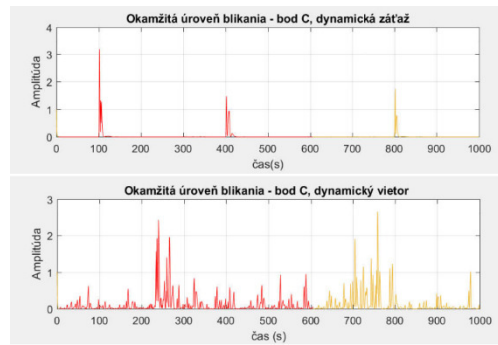
Obr. 5 Priebeh simulovaného vetra

Keďže simulovaná veterná turbína nemala žiadny stabilizačný mechanizmus, dodávaný činný výkon turbíny tiež kolísal okolo nominálnej hodnoty. To sa negatívne prejavilo na frekvencii siete a napätí. Keďže simulovaná off-grid sieť je malých rozmerov, kolísanie napätia sa prejavilo vo všetkých štyroch odberoch A, B C a D. Frekvencia siete a napätie na svorkách veternej turbíny sú znázornené na Obr. 5. Z Obr. 5 je možné vidieť, že už pri malých zmenách vetra stúpla frekvencia nad hodnotu 51 Hz, respektíve klesla pod hodnotu 49 Hz. Napätie na svorkách veternej turbíny kolísalo. Pri prudkej zmene vetra napätie presiahlo hodnotu 250 V, resp. kleslo k hodnote 190 V. Vzhľadom k tomu, že kolísanie napätia bolo pomerne značné, bol pripojený digitálny flickermeter v bodoch A, B, C a D a v mieste pripojenia veternej turbíny.

### F. Meranie flicker efektu v sieti s veternou turbínou

V predchádzajúcej časti „E“ bol uvedený popis prevádzky off-grid siete s veternou turbínou, na ktorú pôsobil dynamický vietor. Aby bolo možné zistiť, aký je flicker efekt v spomínanej sieti, bol pridaný v bodoch A, B, C a D digitálny flickermeter, ktorým sa zistila krátkodobá miera vnemu flickra, ktorá je počítaná v čase simulácie od 5 do 605 s, čo predstavuje desaťminútový časový úsek. V Tab. 3 je uvedená nameraná krátkodobá miera vnemu flickra a spriemerované percentily. Najmenšia miera krátkodobého vnemu flickra bola v simulácii s konštantnou rýchlosťou vetra  $9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a s dynamickou záťažou. Naopak, najväčšia krátkodobá miera vnemu flickra bola v simulácii s dynamickou rýchlosťou vetra a s dynamickou záťažou. Limitujúcou hodnotou pre krátkodobú mieru vnemu flickra bola hodnota 1, pre dlhodobú mieru vnemu flickra (pre 2-hodinový čas) hodnota 0,65. Z nameraných výsledkov je možné konštatovať, že krátkodobá miera vnemu flickra bola v súlade s normou STN EN 50160.

Na Obr. 6 je znázornená nameraná okamžitá úroveň flicker efektu v odbernom bode C pre simuláciu s dynamickou záťažou (Obr. 2) a simuláciu s dynamickým vetrom (Obr. 5). Z Obr. 6 je zrejmé, že efekt blikania v prípade simulácie s dynamickou záťažou sa prejavil v čase, keď bola v sieti pripojená alebo odpojená záťaž. Prejavilo sa to napríklad v čase  $t_1 = 100$  s, kedy bola v odbernom bode B odpojená záťaž 30 kVA, v čase  $t_2 = 400$  s, kedy bola pripojená v odbernom bode C záťaž 20 kVA a v čase  $t_3 = 800$  s, kedy bola odpojená záťaž z odberného bodu C 20 kVA. V prípade, že na veternú turbínu pôsobí dynamický vietor, opísaný na Obr. 5, bude sa nameraná okamžitá úroveň flicker efektu javiť ako stochastický šum.



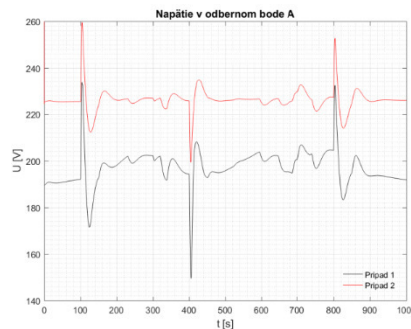
Obr. 6 Nameraná okamžitá úroveň flicker efektu

V Tab. 3 je uvedená krátkodobá miera vnemu flickra pre odberné body A, B, C a D a pre bod na svorkách veternej turbíny. Z uvedených výsledkov je dôležité si všimnúť, že v každej simulovanej schéme bola v odbernom bode A nameraná najväčšia miera krátkodobého vnemu flickra. Je to z dôvodu, že bod A je napájaný vedením, ktorého rezistencia a reaktancia sú omnoho väčšie ako vedenie spájajúce ostatné body (Tab. 2). Napätie v bode A bolo v týchto simuláciách ustálené na hodnote  $U = 189,6 \text{ V}$  (v reálnych podmienkach by bolo tak nízke napätie problémom pre činnosť mnohých prístrojov).

Tabuľka 3  
 Nameraný flicker efekt v simulovanej sieti

	$P_{0,1s}$	$P_{1s}$	$P_{5s}$	$P_{10s}$	$P_{50s}$	$P_g$	
WT simulácia, Dynamická rýchlosť vetra, Dynamická záťaž	Bod A	7,94444	2,29646	1,09671	0,364422	0,043251	0,739981
	Bod B	4,42942	1,38709	0,654338	0,225327	0,025813	0,565732
	Bod C	4,12629	1,33554	0,640592	0,221686	0,025551	0,553068
	Bod D	4,28825	1,38515	0,663718	0,22959	0,026457	0,563365
	Bod WT	3,90262	1,27304	0,611244	0,212224	0,024508	0,539369
WT Simulácia, Dynamická rýchlosť vetra, Konštantná záťaž	Bod A	4,76669	2,50239	1,21876	0,547187	0,068989	0,721009
	Bod B	2,29082	1,2644	0,642569	0,286289	0,037393	0,5135
	Bod C	2,18987	1,20936	0,615162	0,273998	0,035838	0,502251
	Bod D	2,27869	1,25794	0,63941	0,284875	0,03721	0,512195
	Bod WT	2,09109	1,15719	0,590026	0,262503	0,034409	0,491356
WT simulácia, Konštantná rýchlosť vetra, Dynamická záťaž	Bod A	4,96686	1,67448	0,38066	0,014602	0,011166	0,523317
	Bod B	3,04421	0,966101	0,218407	0,00848	0,006955	0,404461
	Bod C	2,77123	0,929307	0,212038	0,007767	0,00631	0,390405
	Bod D	2,87724	0,959631	0,21867	0,008057	0,006548	0,397332
	Bod WT	2,64433	0,879365	0,199992	0,007509	0,006025	0,380651

Aby sa znížil vplyv vedenia na nameraný flicker efekt, simulácie boli zopakované s tým rozdielom, že vedenie spájajúce odberné miesto A bolo simulované rezistanciou  $R_c = 0,0134 \Omega$  a indukčnosťou  $L_c = 23,7 \mu\text{H}$ , ktoré spájajú odberný bod C. Výsledky sú uvedené na Obr. 7.



Obr. 7 Napätie v simulovanej schéme pre bod A

Na Obr. 7 je uvedený priebeh napätia v odbernom bode A, v ktorom bol uvažovaný konštantný vietor  $9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a dynamická záťaž, pre „prípade 1“ s pôvodným vedením, ktorého rezistencia je  $R_a = 0,2010 \Omega$  a indukčnosť  $L_a = 355,5 \mu\text{H}$ . V „prípade 2“, bod A bol spojený vedením s parametrami  $R_a = 0,0134 \Omega$  a  $L_a = 23,7 \mu\text{H}$ .

Z Obr. 7 je zrejmé, že v „prípade 1“ dochádzalo k väčším výkyvom napätia na svorkách v odbernom bode A, ako v „prípade 2“. Napríklad počas odpojenia 20 kVA záťaže z odberného bodu C došlo v odbernom bode A v „prípade 1“ ku krátkodobému poklesu napätia z hodnoty  $U_f = 194,3 \text{ V}$  na  $U_f = 149,5 \text{ V}$ , čo je pokles o  $\Delta U = 44,8 \text{ V}$ , a v „prípade 2“ došlo k poklesu z hodnoty  $U_f = 225,7 \text{ V}$  na  $U_f = 199,4 \text{ V}$ , čo je pokles len o  $\Delta U = 26,3 \text{ V}$ . Nakoľko pri prechodných javoch dochádza k menším výkyvom napätia, výsledný flicker efekt mal nižšiu hodnotu. V testovanom „prípade 2“ bola hodnota krátkodobého flicker efektu v bode A rovná  $P_{ST} = 0,335491$  (pôvodná hodnota, v „prípade 1“ bola  $P_{ST} = 0,523317$ ).

#### IV. ZÁVER

Uvedený príspevok prezentuje výsledky simulácií off-grid siete s uvažovaním obnoviteľných zdrojov (FV zdroj a veterná turbína) a bez uvažovania obnoviteľných zdrojov. Simulovaná off-grid sieť obsahovala tiež dva dieslegenerátory s nominálnym výkonom 250 kW a odbery A, B, C a D, ktoré predstavovali 4 odborné miesta predstavujúce 4 lokality zapojené do off-grid siete. V prípade odpojenia alebo pripojenia záťaže sú generátory schopné vyregulovať sústavu tak, aby odoberaný výkon bol rovný dodávanému výkonu. Pritom však nemôže dôjsť k prekročeniu maximálneho, dodávaného výkonu generátormi. Reguláciu dieselových generátorov zabezpečovalo riadenie hydraulického turbíny.

Problémom off-grid sústavy s FV poľom je, že dodávaný výkon z FV poľa nie je možné regulovať. FV pole vyrába elektrickú energiu podľa aktuálnych klimatických podmienok. Preto, pri rýchlych klimatických zmenách, dochádza k rýchlej zmene vo vyrábanom výkone z FV poľa. Napríklad pri zväčšenej oblačnosti môže dôjsť k náhlemu poklesu vyrobenej elektrickej energie z FV poľa.

Zaradením veternej turbíny do off-grid siete bol pozorovaný zvýšený flicker efekt. Okrem kolísania napätia v sieti kolísala aj frekvencia siete. Veľké výkyvy frekvencie môžu mať negatívny vplyv na dieselové generátory. Flicker efekt vznikal pri odpojení, resp. pripojení záťaží, zdrojov a pri neštandardnej prevádzke off-grid siete. V týchto prípadoch treba uvažovať, ako odstrániť nepriaznivý jav blikania. Existuje viacero riešení, napríklad vystuženie siete do „tvrdéj“ siete, zapojenie lineárnej tlmivky k zdroju flickera, alebo použitie dynamických napäťových stabilizátorov na báze FACTS zariadení, akými sú napríklad statický kompenzátor SVC, D-Statcom alebo iné.

#### POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: *Centrum výskumu účinnosti integrácie kombinovaných systémov obnoviteľných zdrojov energií*, s kódom ITMS: 26220220064, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

#### REFERENCIE

- [1] International Renewable Energy Agency: *Off-grid renewable energy systems: status and methodological issues*, [online]. Dostupné na: < [https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA\\_Off-grid\\_Renewable\\_Systems\\_WP\\_2015.pdf](https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Off-grid_Renewable_Systems_WP_2015.pdf) >.
- [2] Hajimiragha, A. H., Zadeh, M. R. D.: *Research and development of a microgrid control and monitoring system for the remote community of Bella Coola*, IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering. E-ISBN 978-1-4799-2775-3.
- [3] Medved, D.: *Simulation in Electric Power System. A collection of exercises I*, Košice: TU Košice, 2017, 225 p., ISBN 978-80-553-3142-3.
- [4] MathWorks: *Model hydraulic turbine and proportional-integral-derivative*, [online]. Dostupné na: < [https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/hydraulic\\_turbine\\_and\\_governor.html](https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/hydraulic_turbine_and_governor.html) >.
- [5] MathWorks: *Three-Level Bridge*, [online]. Dostupné na: < <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/threelevelbridge.html> >.
- [6] MathWorks: *Average Model of a 100-kW Grid-Connected PV Array*, < <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/examples/average-model-of-a-100-kw-grid-connected-pv-array.html> >
- [7] MathWorks: *Implement three-phase dynamic load with active power and reactive power as function of voltage or controlled from external input - Simulink*, [online]. Dostupné na: < <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/threephasedynamicload.html> >.
- [8] Klešč, M.: *Modelovanie off-grid elektrickej siete v prostredí Simscape Power Systems*. Diplomová práca. Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2017.

# Design and simulation of autonomous photovoltaic system with accumulation for family house

<sup>1</sup>Martin VOJTEK, <sup>2</sup>Michal KOLCUN

<sup>1,2</sup> Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>martin.vojtek@tuke.sk, <sup>2</sup>michal.kolcun@tuke.sk

**Abstract** — This paper deals mainly with the issue of renewable resources and the efficiency of using the energy produced in off-grid hybrid systems with storage facilities. The main part of the contribution is a comparison of two approaches for designing a family house in an island operation that works based on renewable solar energy. For this purpose, a hybrid system model was developed in the Matlab / Simulink program. Systems designed by different approaches were then simulated and the results compared from ability to cover the load during the simulated period point of view.

**Keywords** — renewable energy sources, accumulation of electricity, hybrid systems, off-grid

## I. INTRODUCTION

In recent years, global electricity consumption has risen. A substantial part of the electricity consumption is provided by fossil sources whose inventory is constantly decreasing, resulting in an increasing importance of renewable energy sources (RES) [1]. RES records tremendous growth in recent years. In the context of their uneven and interrupted supply, a solution associated with the accumulation of electricity takes on the importance. This requires the use of a certain type of storage device. In particular, the island photovoltaic systems that are the subject of this paper depend on the proper choice of technology and the capacity of the storage because it represents the only energy source when the system does not produce any energy [2]. Therefore, the problem that needs to be addressed is the optimal design of individual parts of the system to cover the load throughout the year.

In this paper, island systems are designed in two ways and both of the designs are simulated and evaluated. In addition, a description of the model proposed for calculating the energy and power balances of island systems based on solar energy is also provided.

## II. DESIGN OF AUTONOMOUS PHOTOVOLTAIC GRID-OFF SYSTEM FOR FAMILY HOUSE

Individual designs do not differ in the calculation method, but only in the input data used for the calculation. The first proposal is based on the total average annual output from the photovoltaic power plant per unit of installed power and consumption of the family house over the same period. The second system is dimensioned based on the average monthly output per unit of installed power during the month with the lowest average solar radiation intensity and consumption over that period.

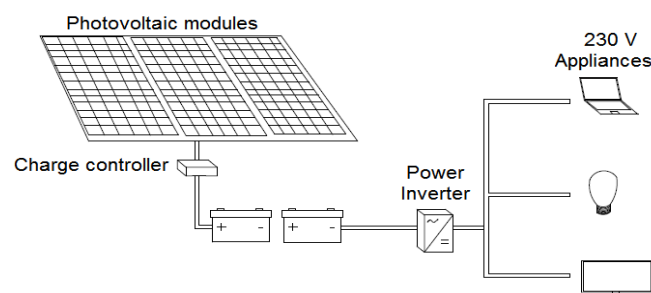


Fig. 1 Block diagram of hybrid system connection

### A. Input data

Before initiating a photovoltaic source design, it is necessary to obtain data about the average solar radiation intensity or production from photovoltaic panels per unit of installed power. For this purpose, the PVGIS [3] (Photovoltaic Geographical Information System) and its interactive maps were used. The output is the estimation of photovoltaic power plant production per unit of installed power, together with average values of solar radiation intensity for individual days and months.

The load of the considered family house is represented by installed appliances listed in the following table. At the same time, the times of their operation, which were only estimated for the purpose of the proposal, are also given. The real course of active power of family house will be used subsequently, in the simulations of the proposed systems.

Table 1.  
 Installed power and time of operation

Device	Power [W]	Tine of operation [h]
Cooker	2100	1
Washing machine	900	0,28
Microwave oven	750	0,5
Iron	600	0,28
Kettle	600	0,25
TV	250	8
DVD	150	2
PC	500	8
Lights 15 pcs	600	5
<b>Overall</b>	<b>6450</b>	-

Based on these data, it is possible to calculate the estimated household electricity consumption for one day and then for the whole year as the sum of product of installed power and the corresponding time of operation.

$$E_{day} = \sum_{i=1}^9 P_i * t_i = (2100*1) + (900*0,28) + (750*0,5) + (600*0,28) + (600*0,25) + (250*8) + (150*2) + (500*8) + (15*40*5) = 12\,345 \text{ Wh} \quad (1)$$

$$E_{year} = E_{day} * 365 = 12,345 * 365 = 4505,925 \text{ kWh} \quad (2)$$

### B. Photovoltaic power plant

The data on consumption and photovoltaic production per unit of power are needed for the design of its size. The installed power of this source is the only difference in the proposed systems. During the design, the poly crystalline silicon photovoltaic module TW 225P POLY, by Tianwei Company with peak power of 225 W at standard test conditions was selected. The installed power was calculated as follows:

- Calculation A: Calculation based on the total average annual photovoltaic power plant production and annual consumption

$$P_{pv} = \frac{E_{year}}{E_{total}} = \frac{4505,925}{1040} = 4,33 \text{ kW} \quad (3)$$

$$n_{modules} = \frac{P_{pv}}{P_{module}} = \frac{4,33}{0,225} = 19,24 \text{ ks} \rightarrow 20 \text{ modules} \quad (4)$$

- Calculation B: Calculation based on average production during the month with the lowest solar radiation intensity and consumption during this month

$$P_{pv} = \frac{E_{year}}{E_m} = \frac{4505,925}{23.6} = 15,91 \text{ kW} \quad (5)$$

$$n_{modules} = \frac{P_{pv}}{P_{module}} = \frac{15,91}{0,225} = 70,71 \text{ ks} \rightarrow 72 \text{ modules} \quad (6)$$

### C. Accumulators

When designing accumulators, the requirement taken into the consideration was defined as number of days during which they must be able to cover the load if it is not possible to produce electricity from RES. Accordingly, the batteries were designed based on daily consumption and defined number of days. In this case, the request was set at  $n_d = 3$  days . The required energy

and the amount of electrical charge for the system working with 12 Volts were calculated as follows:

$$E_{aku} = E_{day} * n_{days} = 12,345 * 3 = 37,035 \text{ kWh} \quad (7)$$

$$Q_{aku} = \frac{E_{aku}}{U_{sys}} = \frac{37035}{12} = 3086 \text{ Ah} \quad (8)$$

In this system, Banner Solar 12V / 180 Ah accumulators are considered. The house will need 18 accumulators connected in parallel to cover the required capacity of 3086 Ah at 12 V.

*D. Other parts*

This category includes the elements of the power electronics, namely the home battery charging controller and the voltage converter. As a home battery charger, the device named 150/100-Tr by Victron Energy was chosen according to size of the individual parts of the system and their parameters. This device contains a Maximum Power Point Tracking algorithm (MPPT), while protecting against discharging, overcharging, short circuit operation, and overloading or polarization. The SINUS Phoenix, 3000 VA, 12 V, also from Victron Energy, has been selected among voltage converter that conforms to the proposed system.

III. MODELING OF THE PHOTOVOLTAIC OFF-GRID SYSTEM IN MATLAB/SIMULINK

In order to test the proposed off-grid systems in terms of energy and power balances, a model was developed in the Matlab / Simulink environment. The model represents the implementation of the individual parts described in the previous chapter. In addition, it was necessary to define the system internal logic. The implementation of every single part of the model is described below.

*A. Photovoltaic power plant*

It was modeled using one diode equivalent circuit including consideration of series and parallel resistance [4]. Since a producer does not give these values, they have been determined explicitly using the Lambert W-function and diode ideality factor A estimation. All other values needed were found in datasheet provided by manufacturer.

*B. Batteries*

In this case, the batteries were modeled using a standard block from the Simulink power systems library. Chosen technology and designed parameters were set.

*C. Charge controller and control system*

The charging controller for charging of lead-acid batteries works in three stages in order to maintain maximum battery life. It was implemented using simple logical conditions depending on the battery charge level. The principle of action is illustrated in the following figure (right).

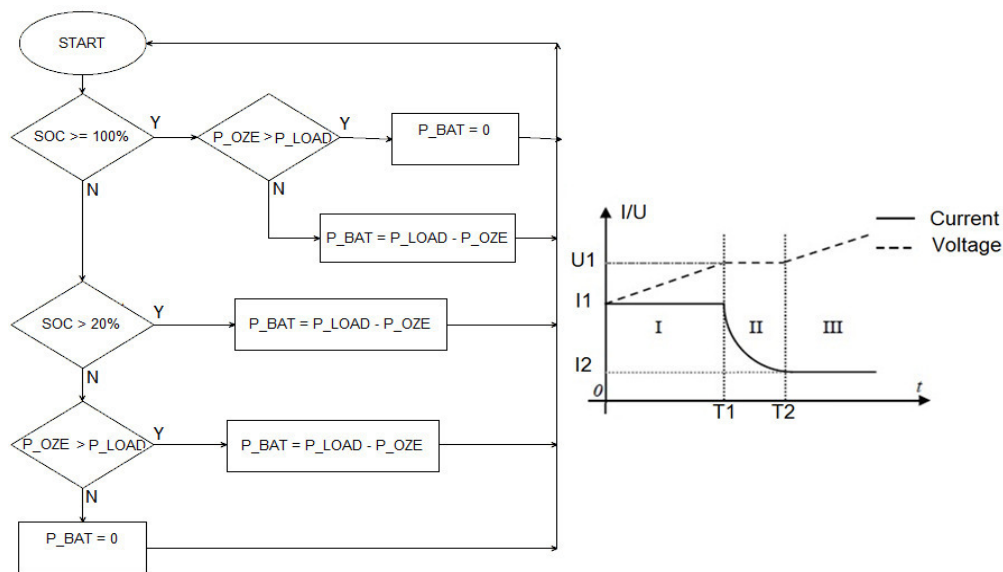


Fig. 2 Algorithm for power flow control – left, three-stage charging process – right

In addition to logic used for three-stage charging, the controller also includes a Perturb and Observe MPPT algorithm and a control system to control power flows within a hybrid system according to a defined algorithm (Fig. 2 - left). The SOC (State of Charge) value, the

comparison of the produced ( $P_{oze}$ ) and the consumed power ( $P_{load}$ ) are basic decision variables. Comparing  $P_{oze}$  and  $P_{load}$  denotes surplus or lack of electricity at any time. The output of the algorithm is the power output of the batteries ( $P_{bat}$ ), where the positive value represents the discharging and vice versa.

*D. Load*

In this case, course of active power was directly loaded from an external file into a variable  $P_{load}$ , which enters the control logic. This data were measured by intelligent real-time measurement system and provided by the distribution system operator.

IV. SIMULATION AND RESULTS

Simulations were performed for each of the proposed systems during the summer and winter weeks. Specifically, it was the first July week (1.7-7.7.2016) and the first week of December (1.12-7.12.2016), which corresponds to input data (solar radiation, wind speed, temperature, course of load active power). A 10-second discrete simulation method was chosen, and the solver named od45 Dormand-prince was used. Since the goal was to simulate a time period of one week, the simulation time was set to 604800 seconds.

*A. System designed on the basis of average annual production and consumption*

In the summer scenario, surplus energy produced from a photovoltaic power plant can be seen on the basis of the energy and power balance. Surplus was stored, resulting in an increase in the charge level to 100% during each day. At this level, the energy can be no longer accumulate, the charging regulator delivers only the energy needed to cover the load, leaving more than two-thirds of the available energy unused.

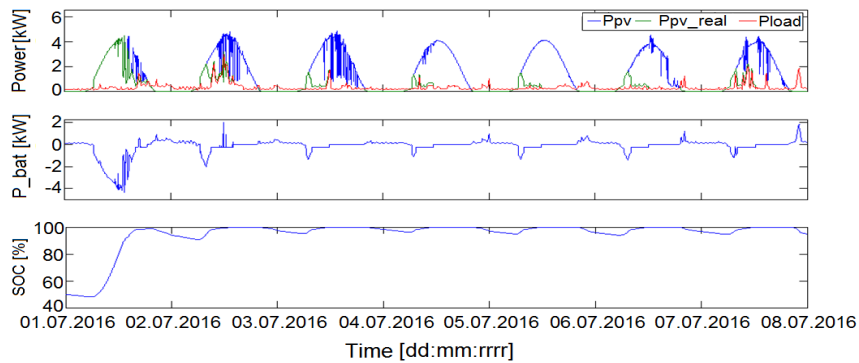


Fig.4 Power balance for calculation A – summer scenario

Table 2  
 Energy balance for calculation A – summer scenario

Value	Energy [kWh]
Available energy from PV	238
Real supplied energy from PV	72,91
Energy charged to batteries	20,97
Load	51,95
Unsupplied energy	0

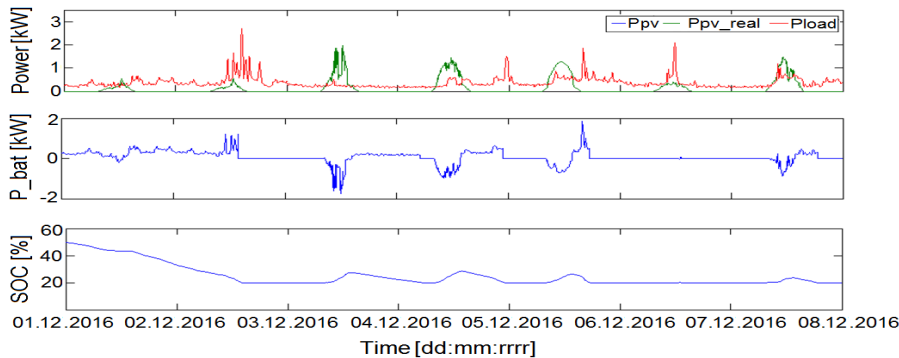


Fig.5 Power balance for calculation A – winter scenario

Conversely, the winter scenario shows the maximum possible use of photovoltaic power, but the amount of energy is not sufficient to cover the load. For this reason, accumulated energy was used until the SOC reached a predefined minimum level (20%). After this event, surplus electricity is produced only sporadically, the charge level increased over several days, but by a



maximum of 10%. This did not provide enough power to cover the load, and in practice this would mean that the system would disengage the load, what indicating the incorrect system design. The energy balance shows that the amount of energy consumed by the load is greater than in the summer and the amount of energy produced is smaller. The total amount of energy that could not be delivered due to low or no production from RES together with an insufficient amount of energy stored in batteries is almost half of the energy consumed by the load.

Table 3  
 Energy balance for calculation A – winter scenario

Value	Energy [kWh]
Available energy from PV	25,37
Real supplied energy from PV	25,37
Energy charged to batteries	11
Load	61,92
Unsupplied energy	25,54

*B. System designed on the basis of average monthly production and consumption during the month with lowest solar radiation intensity*

The summer scenario shows extremely production surpluses during the middays, they are 10-15 times larger than the consumption. This results in a quick charging during first day. At the maximum SOC, it was not possible to store the produced energy and therefore, in the context of very large surpluses, this system is ineffective in the summer. Only less than 10% of the available energy was used, because this was enough to cover the load and charge the batteries.

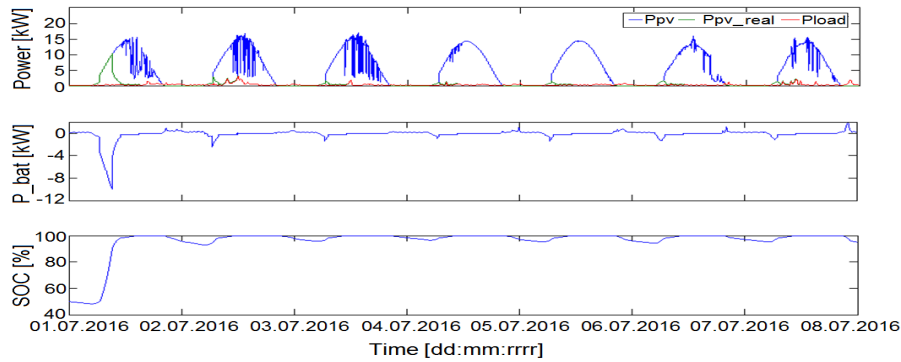


Fig.6 Power balance for calculation B – summer scenario

Table 4  
 Energy balance for calculation B – summer scenario

Value	Energy [kWh]
Available energy from PV	833
Real supplied energy from PV	73,01
Energy charged to batteries	21,06
Load	51,95
Unsupplied energy	0

It can be seen that in the winter, this system produces more energy than is consumed by the load. Nevertheless, during the operation, there was a time when it was impossible to meet the demand for electricity. This is caused by the production of RES at a time other than the time of consumption and at the same time there is an insufficient battery capacity for storing and then moving energy over time. As the week starts at a 50% charge and ends at a level above 90%, it can be assumed that under similar weather conditions the load in the next week would be covered and the system would suit the requirements.

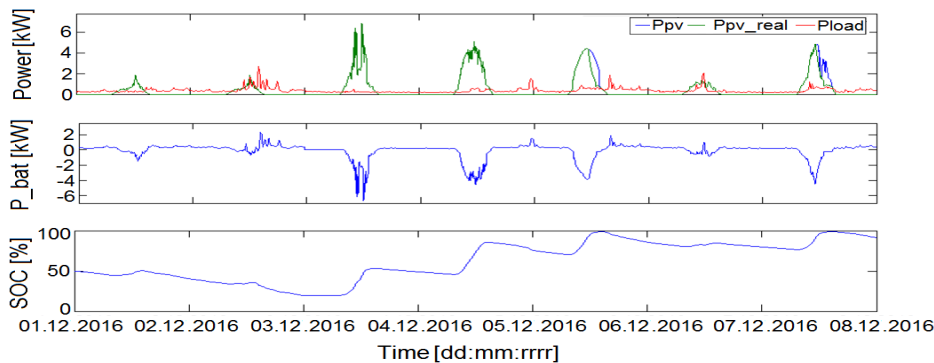


Fig.7 Power balance for calculation B – summer scenario

Table 5  
 Energy balance for calculation B – summer scenario

Value	Energy [kWh]
Available energy from PV	88,8
Real supplied energy from PV	80,95
Energy charged to batteries	21,09
Load	61,92
Unsupplied energy	2,056

## V. DISCUSSION

The paper provides an assessment of two simple approaches how to design off-grid systems for a family house in terms of capacity to cover the load. It turned out that none of the proposed systems were able to fully cover the load of the family house throughout the year. As can be seen, both systems are deficient in simulated winter scenarios, despite significant overdimensioning in case of calculation B (Fig. 8 - right). On the other hand, in the summer the systems are sufficient, but in all cases the energy used is inefficient (Fig. 8 - left). The weakness of the study is the comparison of the proposed systems only during the typical summer and winter weeks. The whole year simulation would provide a more detailed picture of the behavior of these systems. Nevertheless, this comparison brings a number of knowledge that can be used in the design in practice. The paper also describes a simulation model that can be used to verify the accuracy of the designed systems before their practical implementation, which is also considered by the author to be a benefit in the field.

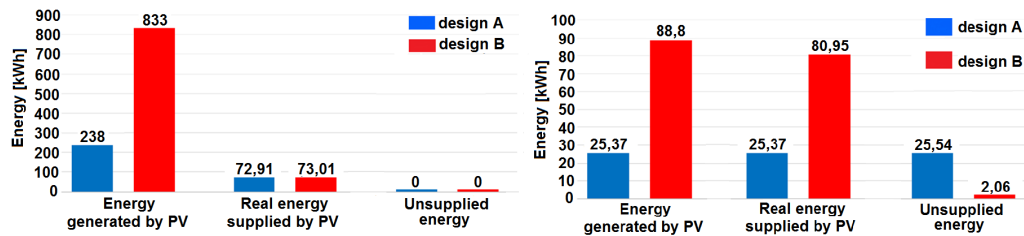


Fig.8 Comparison of energy balances: summer scenario – left, winter scenario - right

## VI. CONCLUSION

After performing of the submitted study and its analysis, the following conclusions can be drawn. None of the systems compared could fully cover the load. Therefore, the selected approaches are not suitable for the design of autonomous off-grid systems requiring 100% reliability of electricity supply. The system designed for average annual production and consumption shows the highest amount of unsupplied energy and thus the lowest reliability. This approach should therefore be used where the user only appears occasionally. On the contrary, the system designed for production and consumption during the month with the lowest intensity is the most reliable, but the assumption that if the system is designed based on month with the lowest solar radiation, it will automatically be able to cover the load throughout the year wasn't confirmed. In order to fulfill this assumption, it would be necessary to increase the storage capacity.

In addition to the comparison and the subsequent relevant conclusions, other contribution is that there is presented a model, which is capable of calculating the energy and power balances of any off-grid system based on solar energy.

## REFERENCES

- [1] M. Vojtek et al., "Utilization of energy storages in low voltage grid with renewable energy sources," *Proceedings of the 16th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)*, Ostrava, Czech Republic, May, 2017.
- [2] J. Morávek, P. Mastný, J. Pitron, "Modeling the Energy Systems in Matlab Simulink - Problematics of Energy System Control," *Proceedings of the 16th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)*, Ostrava, Czech Republic, May, 2015. s. 163-168.
- [3] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - Geographical Assessment of Solar Resource and Performance of Photovoltaic Technology [online]. Ispra, Italy: European Commission, Joint Research Centre. Dostupné na internete: < <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>>
- [4] M. Kolcun, M. Vojtek, Z. Čonka, "The implementation of an ideal photovoltaic module in Matlab/Simulink using simpowersystems toolbox," *16th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)*, Ostrava, pp. 579-583, May, 2015.

# Porovnanie presnosti ideálneho a všeobecného matematického modelu fotovoltického modulu v prostredí Matlab/Simulink

<sup>1</sup>Martin VOJTEK, <sup>2</sup>Michal KOLCUN

<sup>1,2</sup> Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>1</sup>martin.vojtek@tuke.sk, <sup>2</sup>michal.kolcun@tuke.sk

**Abstrakt** — Tento príspevok sa zaoberá vytvorením ideálneho a všeobecného matematického modelu fotovoltického modulu. Podrobne popisuje ich matematický základ a postup pri implementácii v prostredí Matlab/Simulink. Pre účely overenia funkčnosti modelov a porovnania ich presností bol vybraný konkrétny fotovoltický modul. Výstupné charakteristiky oboch modelov sú porovnávané z údajmi, ktoré udáva výrobca a výsledky, ktoré okrem iného ukazujú aj vplyv teploty a slnečného žiarenia sú následne vyhodnotené.

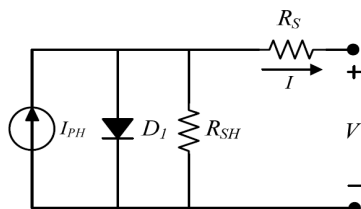
**Kľúčové slová** — fotovoltický modul, model, matlab, simulink

## I. ÚVOD

Fotovoltický článok je zariadenie na báze polovodičových materiálov, ktoré premieňa energiu slnečného žiarenia na elektrickú energiu. Vzhľadom na jeho nízky výkon, je potrebné spájať viacero článkov sériovo alebo paralelne, čím vzniká fotovoltický modul s požadovanými parametrami. Rovnakým spôsobom sú zapojené aj jednotlivé moduly, čím vznikajú takzvané polia. Výstupné parametre článku sú najviac ovplyvňované klimatickými podmienkami, najmä slnečným žiarením ale aj teplotou, pri moduloch a poliach prístupuje aj konfigurácia zapojenia. Preto modelovanie tohto zariadenia vyžaduje zahrnutie teploty a slnečného žiarenia ako vstupných premenných. Výstupom modelu môže byť napätie, prúd alebo výkon modulu.

## II. NÁHRADNÁ SCHÉMA A MATEMATICKÝ MODEL FOTOVOLTICKÉHO ČLÁNKU

Fotovoltický článok, ako najzákladnejší komponent fotovoltického systému, je v tomto príspevku modelovaný pomocou jednodiodového ekvivalentného obvodu (Obr. 1). Zdroj fotoelektrického prúdu je závislý od slnečného žiarenia. Dióda  $D_1$  je využitá na modelovanie napäťovo závislých prúdových strát pri rekombinácii, paralelný rezistor  $R_{SH}$  reprezentuje odpor zvodu a sériový rezistor  $R_S$  predstavuje vnútorný odpor článku.



Obr. 1 Náhradná schéma všeobecného modelu fotovoltického článku

Matematický popis všeobecného modelu je podrobne popísaný autormi v [1][2][3]. Základná rovnica popisujúca vzťah medzi napätím a prúdom je definovaná nasledovne:

$$I = I_{PH} - I_S \left( e^{\frac{q(V+IR_S)}{kTA}} - 1 \right) - \frac{(V + IR_S)}{R_{SH}} \quad (1)$$

$I_{PH}$  reprezentuje prúd generovaný fotovoltickým článkom nazývaný aj fotoprúd. Prúd pretekajúci diódou je popísaný Shockleyho rovnicou, kde  $I_S$  je saturačný prúd. Konštanta  $q$  (1.6

$\times 10^{-19}$  C) predstavuje elektrický náboj,  $k$  ( $1.38 \times 10^{-23}$  J.K $^{-1}$ ) je Boltzmanova konštanta  $T$  (K) je pracovná teplota a konštanta  $A$  (-) je činiteľ kvality, ktorý je závislý od materiálu použitého vo fotovoltaickom článku a technológii výroby. Pre výpočet výsledného prúdu fotovoltaického modulu  $I$  je potrebné zadať napätie na výstupe modulu označené písmenom  $V$ .

Prúd generovaný fotovoltaickým článkom je závislý od okolitej teploty a slnečného žiarenia, a je možné ho vypočítať podľa nasledujúcej rovnice:

$$I_{PH} = \lambda(I_{SC} - k_i(T - T_r)) \quad (2)$$

Koeficient  $\lambda$  je slnečné žiarenie,  $k_i$  teplotný koeficient prúdu nakrátko a  $T_r$  referenčná teplota.  $I_{SC}$  vyjadruje prúd nakrátko meraný za štandardných testovacích podmienok, čo v prípade fotovoltaických modulov predstavuje teplotu 25 °C a slnečné žiarenie s hodnotou 1000 W/m $^2$ .

Saturačný prúd je závislý od prevádzkovej teploty, a je definovaný ako:

$$I_S = I_{RS} \left(\frac{T}{T_r}\right)^3 e^{\left[ qE_G \frac{\left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T}\right)}{kA} \right]}, \quad (3)$$

kde  $I_{RS}$  je reverzný saturačný prúd pri štandardných testovacích podmienkach a  $E_G$  je označenie pre energiu zakázaného pásma, ktorá je závislá od polovodiča použitého vo fotovoltaickom článku [4].

Reverzný saturačný prúd pri referenčnej teplote je možné približne vypočítať podľa nasledujúcej rovnice:

$$I_{RS} = \frac{I_{SC}}{e^{\left(\frac{qV_{OC}}{N_S k A T}\right)} - 1}, \quad (4)$$

kde  $V_{OC}$  je napätie fotovoltaického článku naprázdno pri referenčnej teplote a  $N_S$  počet článkov zapojených sériovo. V prípade modelovania samotného článku je  $N_S$  rovné jednej.

Okrem všeobecného modelu je možné pristúpením k určitým zjednodušeniam odvodiť aj reverzný pre približný alebo zjednodušený model.

Približný model s vhodnou komplexnosťou je možné odvodiť z rovnice (1) bez uvažovania zvodového prúdu, teda zanedbaním paralelného rezistora  $R_{SH}$ . Po úpravách je možné rovnicu (1) prepísať na tvar:

$$I = I_{PH} - I_S \left( e^{\left[ \frac{q(V + I R_S)}{k T A} \right]} - 1 \right) \quad (5)$$

V prípade zjednodušeného modelu sa jedná o model ideálneho fotovoltaického článku. Ten vznikne ďalším zjednodušením rovnice (1), a to konkrétne zanedbaním rezistora  $R_S$ , ktorý predstavuje pozdĺžne straty na vnútornom odpore fotovoltaického článku. V takomto prípade, je možné úpravami opäť prepísať danú rovnicu na príslušný tvar:

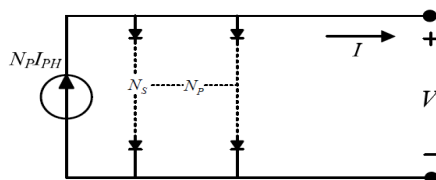
$$I = I_{PH} - I_S \left( e^{\left[ \frac{qV}{k T A} \right]} - 1 \right) \quad (6)$$

### III. NÁHRADNÁ SCHÉMA A MATEMATICKÝ MODEL FOTOVOLTICKÉHO MODULU

Sériovým zapojením fotovoltaických článkov sa dosahuje zvýšenie napätia, paralelným zapojením zvýšenie prúdu modulu. V rámci modulu sa vo väčšine prípadov používa len sériové zapojenie, naopak v rámci poľa sú moduly zapojené paralelne. Zjednodušená náhradná schéma modulu pozostávajúceho z  $N_P$  paralelných a  $N_S$  sériových článkov je zobrazená na Obr. 2. Výsledný prúd tohto obvodu je možné popísať nasledujúcou rovnicou:

$$I = N_P I_{PH} - N_P I_S \left( e^{\left[ \frac{qV}{N_S k T A} \right]} - 1 \right) \quad (7)$$

V prípade modelovania jedného článku je  $N_S = N_P = 1$ . Pri modelovaní modulu je potrebné za  $N_S$  a  $N_P$  dosadiť počet sériovo respektíve paralelne zapojených článkov. Pri modelovaní poľa za predpokladu iba sériového zapojenia v rámci modulu má  $N_S$  rovnakú hodnotu ako v predchádzajúcom prípade a  $N_P$  predstavuje počet modulov zapojených paralelne v rámci poľa.

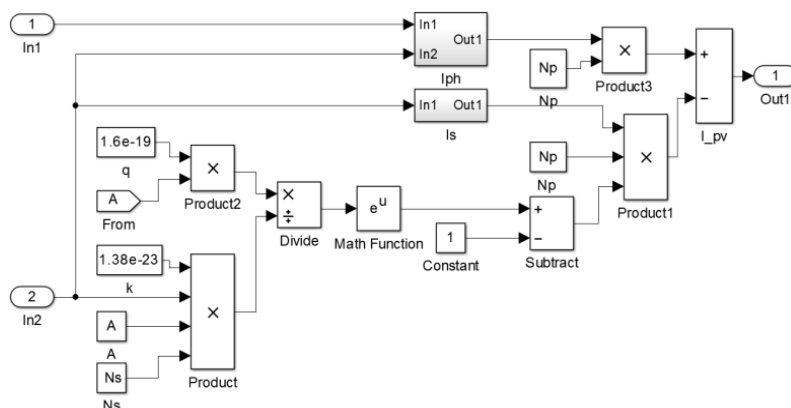


Obr. 2 Náhradná schéma všeobecného modelu fotovoltaického článku

#### IV. MODELOVANIE V PROGRAME MATLAB/SIMULINK

Rovnica pre výsledný prúd a ďalšie potrebné rovnice boli implementované pomocou blokov knižnice Matematické operátory. Rozhranie matematicky modelovaného fotovoltického modulu s fyzickými prvkami knižnice SimPowerSystems je realizované prostredníctvom kontrolovaného prúdového zdroja. Ten je riadený výsledkami rovnice (7) pre výsledný prúd. Jednotlivé rovnice tvoria podsystémy modelu.

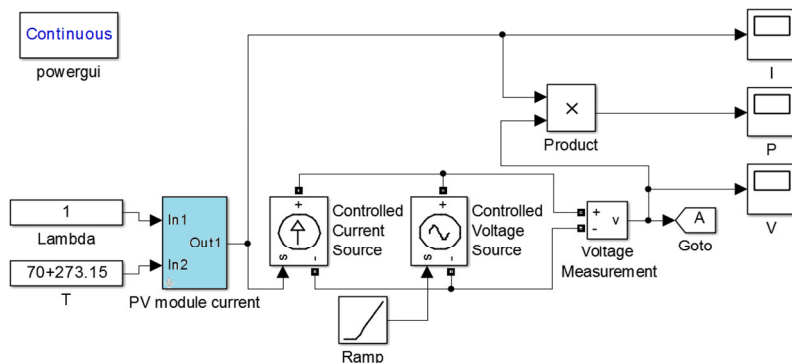
Po namodelovaní jednotlivých rovníc je možné pristúpiť k zostaveniu vzťahu pre celkový prúd fotovoltického modulu (obr. 3). Celkový prúd je okrem parametrov modulu daný aj slnečným žiarením (označenie  $In1$ ) a teplotou okolia (označenie  $In2$ ), ktoré tvoria vstupné premenné namodelovanej rovnice a tým aj celého modelu. Slnečné žiarenie je potrebné zadávať v kilowattoch na meter štvorcový a teplotu v Kelvinoch, pričom tieto hodnoty môžu byť konštantné počas celej simulácie, meniace sa podľa vopred nakonfigurovaných parametrov alebo aj načítavané z externého súboru.



Obr. 3 Detailný pohľad na implementáciu rovnice pre výpočet výsledného prúdu fotovoltického článku

Zo súboru namodelovaných rovníc bol vytvorený funkčný podsystém, z ktorého bol následne vytvorený Simulink blok, čo umožňuje ľahko použiť model fotovoltického modulu pre najrôznejšie aplikácie. Bolo vytvorené aj používateľské dialógové okno.

Tak, ako je možné vidieť na Obr. 4, model má na výstupe hodnotu prúdu fotovoltického modulu podľa (7) a napája kontrolný vstup kontrolovaného prúdového zdroja, ktorý tvorí rozhranie medzi matematickým a fyzickým modelom



Obr. 4 Vytvorený model fotovoltického modulu pripravený na meranie výstupných charakteristík

#### V. SIMULÁCIA A VÝSLEDKY

Po namodelovaní fotovoltického modulu je potrebné simuláciou overiť jeho funkčnosť. Model bol preto upravený pridaním určitých blokov za účelom merania jeho nelineárnych výstupných charakteristík, konkrétne  $I=f(U)$  a  $P=f(U)$ . Bol pridaný kontrolovaný napäťový zdroj s rampovou funkciou na kontrolnom vstupe, kvôli plynulému zvyšovaniu napätia na výstupe modulu. Ďalej boli pridané aj meracie a zobrazovacie bloky.

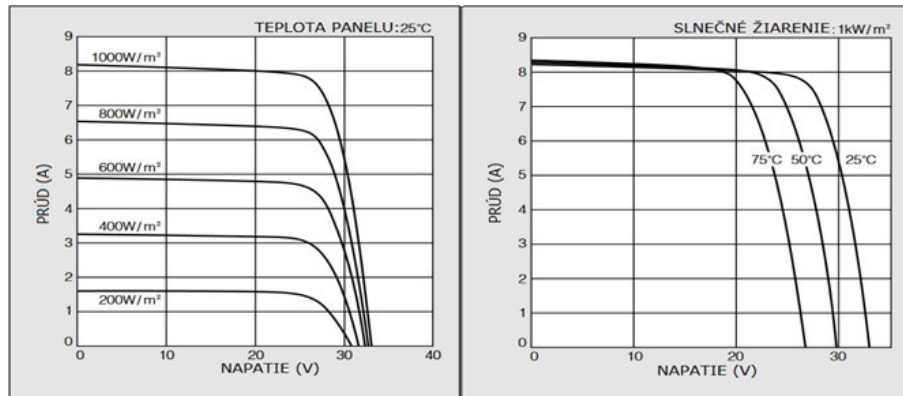
Na testovanie boli použité parametre fotovoltického modulu s označením KC200GT od firmy Kyocera (Tab. 1), ktorého parametre pri štandardných (STC – standard test conditions) a iných ako štandardných testovacích podmienkach (slnečnom žiarení  $800 \text{ W/m}^2$  a nominálnej prevádzkovej teplote - nominal operating cell temperature - NOCT). sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.

Parametre udávané výrobcom dopĺňajú volt - ampérové charakteristiky pri rôznych klimatických podmienkach (Obr. 5).

Tabuľka 1

Parametre simulovaného fotovoltaického modulu pri STC a NOCT

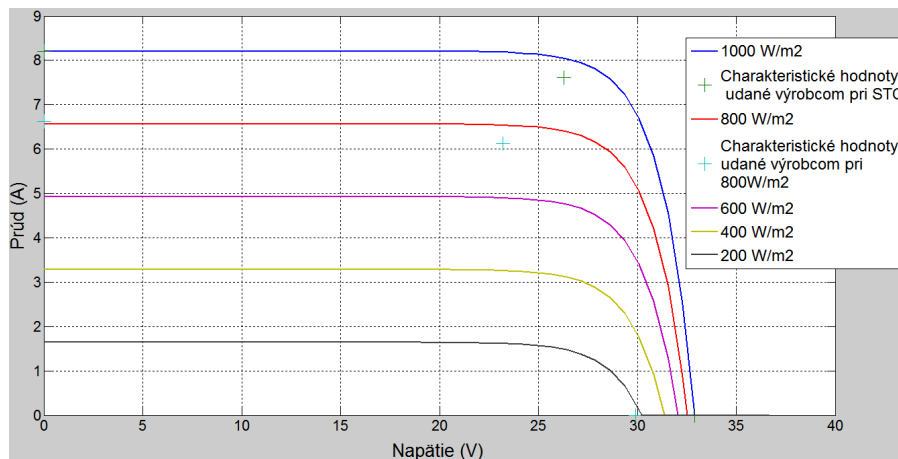
Parameter	STC	NOCT
Výkon (W)	200	142
Napätie naprázdno (V)	32.9	29.9
Prúd nakrátko (A)	8.21	6.62
Prúd pri maximálnom výkone (A)	7.61	6.13
Napätie pri maximálnom výkone (V)	26.3	23.2
Teplotný koeficient prúdu nakrátko (mA/°C)	0.0053	0.0053
Energia zakázaného pásma (eV)	1.11	1.11
Faktor A (-)	1.2	1.2
Počet článkov zapojených do série v rámci modulu (-)	54	54



Obr. 5 Závislosť výstupného prúdu od napätia  $I=f(U)$  pri konštantnej teplote  $T=25^{\circ}\text{C}$  (vľavo) a závislosť výstupného prúdu od napätia  $I=f(U)$  pri konštantnom slnečnom žiarení (vpravo) – udané výrobcom

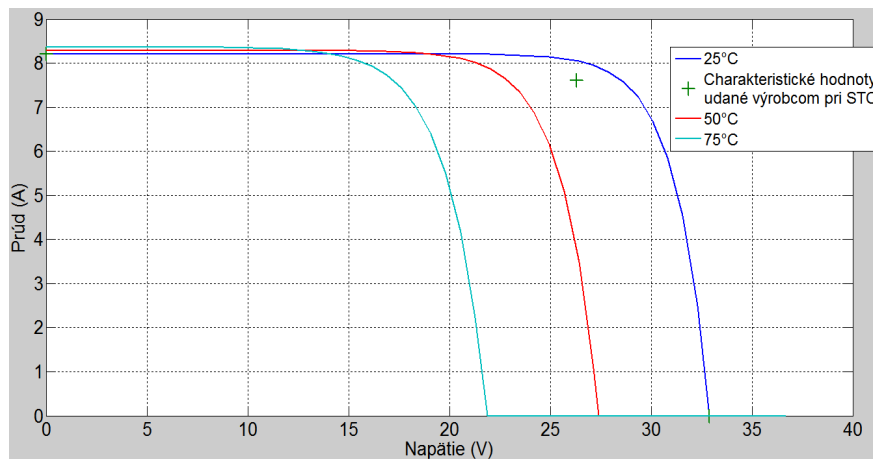
Okrem overovania funkčnosti modelu sledovaním zhody jeho výstupných charakteristík s parametrami uvádzanými výrobcom, bola sledovaná aj zmena výstupných parametrov v závislosti od zmeny vstupných premenných. Samostatne bol sledovaný vplyv teploty pri konštantnom slnečnom žiarení a naopak vplyv slnečného žiarenia pri konštantnej teplote. Pri sledovaní vplyvu teploty bola teplota nastavovaná od 25 do 70 °C, s krokom 25 °C pri konštantnom slnečnom žiarení 1000 W/m<sup>2</sup>. Pri sledovaní vplyvu slnečného žiarenia bolo žiarenie nastavované od 200 W/m<sup>2</sup> do 1000 W/m<sup>2</sup>, s krokom 200 W/m<sup>2</sup> pri konštantnej teplote 25°C. Tieto simulácie boli vykonané s ideálnym a všeobecným modelom, pričom vo výsledkoch sú znázornené aj charakteristické hodnoty udané výrobcom pri STC. Všeobecný model uvažuje s paralelným a sériovým odporom, ktoré nie sú štandardne dostupné a je problematické ich určiť. V tomto prípade boli určené pomocou numerického výpočtu s použitím Lambertovej W-funkcie, konkrétne  $R_{SH} = 314.26 \Omega$  a  $R_S = 0.2643 \Omega$ .

Grafické závislosti (Obr. 6 a Obr. 7) predstavujú nelineárne V-A charakteristiky fotovoltaického modulu získané pomocou ideálneho modelu. Je možné vidieť, že model nevykazuje úplnú zhodu z parametrami udávanými výrobcom pri STC. Rozdiely medzi údajmi z technickej špecifikácie a modelovanými charakteristikami sú značné. Okrem porovnania presnosti modelu je možné pozorovať aj vplyv slnečného žiarenia a teploty na parametre modulu. So zvyšovaním slnečného žiarenia značne narastá hodnota prúdu nakrátko, na druhej strane napätie naprázdno narastá iba mierne. Z V-A charakteristiky  $I=f(U)$  pri konštantnom



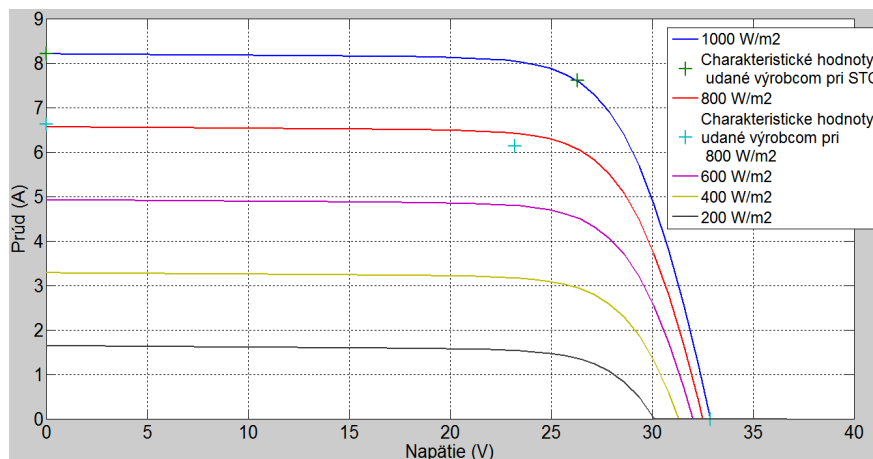
Obr. 6 Závislosť výstupného prúdu od napätia  $I=f(U)$  pri konštantnej teplote  $T=25^{\circ}\text{C}$  – ideálny model

slnačnom žiarení (obr. 7) vyplýva, že s narastajúcou teplotou značne klesá napätie naprázdno a prúd naskratko klesá iba mierne.

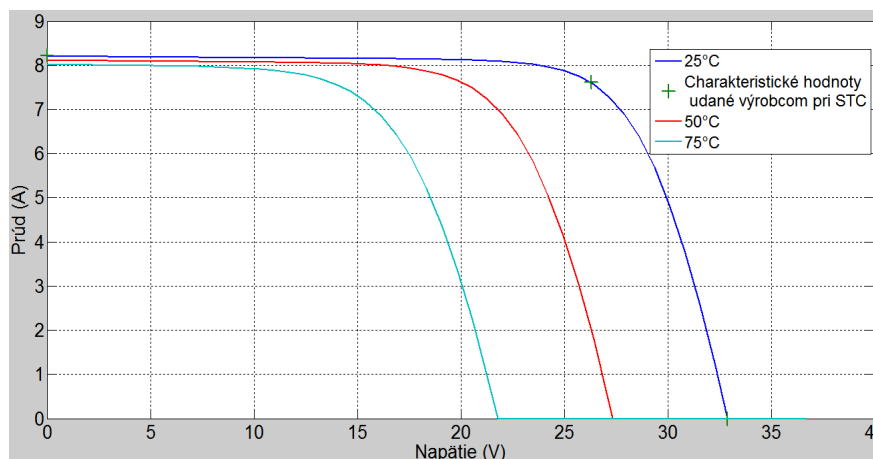


Obr. 7 Závislosť výstupného prúdu od napätia  $I=f(U)$  pri konštantnom slnečnom žiarení  $1000 \text{ W/m}^2$  – ideálny model

Grafické závislosti (Obr. 8 a Obr. 9) predstavujú V-A charakteristiky fotovoltaického modulu podobne ako v predchádzajúcom prípade, s tým rozdielom, že boli získané zo všeobecného modelu. Pri štandardných testovacích podmienkach, je priebeh charakteristiky takmer zhodný z parametrami udanými výrobcom. Rozdiel oproti katalógovým údajom je rádovo v stotinách ampérov. Pri iných než STC podmienkach, sa presnosť modelu znižuje. Rozdiely narastajú na desatiny ampéra hlavne v priestore okolo maximálneho výkonového bodu, čo pri praktických aplikáciách modelu predstavuje uspokojivú presnosť. Vplyv teploty a slnečného žiarenia je rovnaký, ako v predchádzajúcom prípade.



Obr. 8 Závislosť výstupného prúdu od napätia  $I=f(U)$  pri konštantnej teplote  $T=25^\circ\text{C}$  – všeobecný model



Obr. 9 Závislosť výstupného prúdu od napätia  $I=f(U)$  pri konšt. slnečnom žiarení  $1000 \text{ W/m}^2$  –všeobecný model

## VI. DISKUSIA

Po vyladení modelov a odstránení problémov vzniknutých počas modelovania v prostredí Matlab/Simulink, napríklad algebrických slučiek u všeobecného modelu, boli nastavené parametre reálneho fotovoltického modulu od firmy Kyocera udané výrobcom.

Za účelom simulácie výstupných V-A charakteristík bol pridaný kontrolovaný napäťový zdroj, pre plynulé zvyšovanie napätia na výstupe modulu. Existuje aj iný spôsob vhodný na modelovanie a simuláciu merania, a to pripojenie regulovateľného rezistora na výstup modulu.

U oboch modelov nasledovala simulácia výstupných charakteristík pri rôznych poveternostných podmienkach. Okrem nameraných charakteristík boli v príslušných grafických závislostiach vynesene aj charakteristické hodnoty udané výrobcom (napätie naprázdno, prúd nakrátko, napätie a prúd pri maximálnom výkone) pri STC respektíve  $800 \text{ W/m}^2$  a NOCT. Tieto hodnoty boli použité ako hlavné kritérium pri vyhodnocovaní presnosti modelu. Prúd nakrátko a napätie naprázdno boli zhodné u oboch modelov a teda najväčšiu výpovednú hodnotu z hľadiska porovnania presnosti má prúd a napätie pri maximálnom výkone, pretože to vypovedá o tvare a mieste kolena V-A charakteristiky.

Rozdiel medzi ideálnym a všeobecným modelom spočíva v uvažovaní sériového a paralelného odporu, teda výsledky sú odlišné vplyvom týchto parametrov. Ich určenie je náročné a zavedenie presnej metódy na ich určenie je dodnes predmetom mnohých výskumov. V tomto prípade bol použitý explicitný numerický výpočet pomocou Lambertovej W-funkcie. Keďže ideálny model neuvažuje so spomínanými parametrami, nevznikajú tam priečne ani pozdĺžne straty a ním generovaný prúd je väčší ako v skutočnosti, teda sa nezhoduje s údajmi od výrobcu. Platí to aj pri poveternostných podmienkach iných ako STC.

Všeobecný model je presný pri STC, ale pri iných poveternostných podmienkach sa jeho presnosť znižuje. To vysvetľuje výpočet sériového a paralelného odporu, pretože tieto hodnoty sú určené na základe katalógových dát, ktoré sú udávané pri STC.

Obidva modely sú použiteľné pri simuláciách fotovoltických technológií, avšak výber závisí od požiadaviek na presnosť. Keďže na základe výsledkov je možné konštatovať, že všeobecný model s určením hodnôt sériového a paralelného odporu na základe Lambertovej W-funkcie je presnejší ako ideálny model a zároveň numerické určenie hodnôt odporov je pomerne jednoduché, autori odporúčajú použiť všeobecný model ako vhodný kompromis medzi presnosťou a jednoduchosťou.

## VII. ZÁVER

Pri štandardných testovacích podmienkach bola zistená zhoda s parametrami ktoré uvádza výrobca iba u všeobecného modelu. Pri hodnote slnečného žiarenia na úrovni  $1000 \text{ W/m}^2$  a teplote  $25^\circ \text{C}$  nadobúdala prúd nakrátko hodnotu  $8.21 \text{ A}$  a napätie naprázdno  $32.9 \text{ V}$ . Maximálny výkonový bod fotovoltického modulu nastáva pri napätí  $26.3 \text{ V}$  a prúde  $7.6 \text{ A}$ , čo odpovedá parametrom udaným výrobcom pri STC.

Rovnako všeobecný ako aj ideálny model strácajú na presnosti s poveternostnými podmienkami inými ako štandardné testovacie.

U všeobecného modelu to je spôsobené najmä problematickým a menej presným určením paralelného a sériového odporu, ktorých hodnota sa mení aj v závislosti s teplotou, čo nebolo uvažované. S toho vyplýva, že presné určenie hodnôt paralelného a sériového odporu je kľúčová úloha, ktorá najviac ovplyvňuje presnosť modelu.

Napriek tomu, presnosť modelu postačuje na jeho plnohodnotné využitie pri modelovaní elektroenergetických silových systémov.

Pri sledovaní vplyvu teploty bolo preukázané, že prúd nakrátko  $I_{SC}$  pri zmene teploty od  $25^\circ \text{C}$  do  $75^\circ \text{C}$  narastá iba zanedbateľne, na druhej strane napätie naprázdno značne klesá. Pri sledovaní vplyvu slnečného žiarenia bolo zistené, že prúd nakrátko  $I_{SC}$  pri zmene žiarenia od  $200 \text{ W/m}^2$  do  $1000 \text{ W/m}^2$  značne narastá a napätie naprázdno  $V_{OC}$  stúpa iba mierne.

## LITERATÚRA

- [1] A. Islam, M. Chowdhury, "A simulink based generalized model of PV cell / array," *Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET), 3rd International Conference*, pp.1,5, 29-31 May 2014.
- [2] S. Saïd, A. Massoud, M. Benammar, S. Ahmed, "A Matlab/Simulink-Based Photovoltaic Array Model Employing SimPowerSystems Toolbox," *Journal of Energy and Power Engineering*, vol.,6 pp. 1965-1975, December 2012.
- [3] H. Patel, V. Agarwal, "MATLAB-based modeling to study the effects of partial shading on PV array characteristics," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, pp. 302-310, 2008.
- [4] J. J. Soon, K.. Low, S. Goh, "Multi-dimension diode photovoltaic (PV) model for different PV cell technologies," *Industrial Electronics (ISIE), 2014 IEEE 23rd International Symposium*, pp.2496,2501, 1-4 June 2014.
- [5] M. Suthar, G.K. Singh, R.P. Saini, "Comparison of mathematical models of photo-voltaic (PV) module and effect of various parameters on its performance," *Energy Efficient Technologies for Sustainability (ICEETS), 2013 International Conference*, pp.1354,1359, 10-12 April 2013.



# Algorithm Design for Compression of Genomic Code

*Pavol KOLESÁR, Branislav MADOŠ*

Department of Computers and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

pavol.kolesar.2@student.tuke.sk, branislav.mados@tuke.sk

**Abstract**—Interest in genomics, both from scientific and medical community, leads to enormous development in this area and to requirement of storing genomic codes into digital secondary storages like hard drives. Particular genomic code can be stored in a few MB when the virus is sequenced, but in case of human genomic code a few GB of storage space can be necessary. It is not practical and economical to archive and eventually to send through computer network genomic code sequence consisting of a few GB. That is why data compression techniques are used and regard to that, goal of this work is to design and implement solution for compression of genomic code. By the analysis of the solutions like GReEn, GRS, GenomeZip were found out methods how to deal with such problem. Solution proposed in this paper is based on fact that genomic code from two individuals of the same species is identical to 99,9% and so it is more effective to record only changes of target sequence of genomic code relative to the reference sequence of the genomic code.

**Keywords**— compression, DNA, sequence, ternary tree

## I. INTRODUCTION

People have been wondering why children resemble their parents, why someone is more susceptible to the disease than someone else, to explore similarities, and so has the science of genomics. A major milestone in genomics was done, when a genomic sequence of particular individual was obtained and sequenced. Such a sequence in case of human can represent several gigabytes of data. Such a size is still large, especially when there is requirement of archiving large amount of these sequences or distributing them (sending through the computer network).

The aim of this work is to attempt to design a tool for compression of the genomic code. The motivation for creating such a work is to improve the possibilities of archiving and sharing genomic code sequences. As a result, it will be possible to store and explore a larger number of genomic sequences, and thus to progress faster in the investigation of diseases, viruses and patterns of inheritance.

Based on the analysis of existing solutions, new solution for compressing the genomic code is proposed. The following is a description of the analysis of the solution proposal, the determination of the specific methods and procedures for designing the solution, along with the justification of their implementation and use. The last part of the paper is devoted to comparing solution with existing solutions with similar principles, namely GRS and GReEn.

## II. ANALYSIS OF EXISTING SOLUTIONS

The digitized sequence of genomic code, which in the case of humans reaches almost 3 GB [1] causes considerable complications in its storage and transmission. The use of conventional compression procedures, such as ZIP, RAR, 7z, appears to be less efficient than specialized solutions intended for compression of genomic code. For more effective compression, it is possible to apply the knowledge that two individuals of one species have almost the same genomic code. Conformity is up to 99.9% [2], allowing for more efficient compression by using the same genomic reference code for compression of the desired genomic code. High compression factors can be achieved by this procedure. There are algorithms and tool which are using genomic code compression, such as Genome Re-Sequencing (GRS) [3], Genome Re-Sequencing Encoding (GReEn) [4], Genome Compressor (GeCo) [5], GenomeZip [6], DnaZip [7] and others.

### A. Comparison with the reference sequence

This method uses the fact that the genomic code of individuals of the same species is the same at 99.9%. In compression, it compares the differences between the target and the reference sequence at a particular position. Differences between these two sequences can occur for three reasons:

- Substitution of the part of the sequence with another
- Insertion of any number of bases into the sequence
- Deletion of the part of the sequence

### B. GRS algorithm

GRS is capable of processing the genome sequence without reference SNPs. In addition, GRS can decompress individual genome sequences by reference sequence. GRS performance was tested on the first Korean human genome of 2986.80MB, which was reduced to 18.8MB, which is about 159 times compression.

The GRS algorithm first evaluates the percentage difference between the target and the reference sequence. Thereafter, the longest identical nucleotide sequence is filtered out, and a different sequence is recovered that resolves to reduce file size. The GRS then uses Huffman's encoding strategy to compress a reduced set of different sequences into a bz2 file and generates a command file to decompress the compressed file. The compressed file is simply decompressed using the GRS decoder tool [3].

### C. GReEn

GReEn is a tool for compression of the genomic code using a reference sequence. It originates from the GRS algorithm and addresses some of its disadvantages, such as the ability to compress sequences that cannot be compressed by GRS, faster execution time for compression of some sequences and good compression ratios.

Both GRS and GReEn use the reference sequence. The reference sequence may not even be of the same type as the target, but it results in a lower compression ratio, since the DNA of different species differs more than the DNA of two individuals of the same species. It is also important that the exact same reference sequence that was used to compress the compressed sequence is required to decompress the compressed sequence.

GReEn is designed to compress any sequence, except rows starting with the character '>'. At first it is necessary to define the alphabet of all the characters present in the target sequence. Each character is encoded by an arithmetic coder. For each character that is defined, it is also necessary to define the likelihood of its occurrence. The advantage of such coding is in the ability to modify probabilities during the encoding process [4].

## III. SOLUTION DESIGN

### A. Comparison of the target sequence with the reference sequence

At the input, we can assume two text files containing base codes A, C, G, T, which are arranged in a certain order with the size from several megabytes to gigabytes. Due to the similarity between the two sequences of genomic codes, these codes can be compared and, to a large extent, those codes are identical. We are interested in the differences between the target and reference sequences we need to determine.

The program implements a scanning function which passes reference and target files concurrently and compares the base from the target sequence to the base of the reference sequence at the given position. In the beginning, it compares the first character from one sequence to the first character of the second sequence. After any change that is determined, the numeric position of the pointer in the file can be changed to eliminate it. When there is a substitution, the base of the reference sequence at position  $n$  is replaced by the base from the target sequence at position  $n$ , so no numerical shift occurs. In the event of a deletion change, the base of the reference sequence at position  $n$  is omitted in the target sequence, i.e., the position indicator in the reference sequence must be shifted to  $n + x$  where  $x$  is the number of omitted bases. In the case of insertion, the base in position  $n$  is inserted into the target sequence, i.e. the position indicator in the target sequence must be shifted to  $n + x$  where  $x$  is the number of inserted bases in the target sequence.

Inequality in reference and target DNA chains can be due the substitution, insertion or deletion. Each change of DNA chain can be expressed by all three options. That is why we cannot determine with certainty which one occurred. We can provide tests of all three possibilities to determine which one is most effective from the perspective of compression ratio. This means that fewer changes needed to be written, the compression ratio will be better. When selecting an incorrect option an unwanted shift of chain can occur and the compression rate is minimal.

### B. Ternary tree

For more effective compression, a ternary tree change check must be performed, with each change being evaluated for all three insertion, deletion, and substitution options, and for each of these options, each of the insertion, deletion, and substitution options is evaluated. This ternary tree will provide the optimal solution as it evaluates which sequence of changes has moved position pointers to the farthest.

The proposed ternary tree shown in Figure 1 will have a depth  $n$  and each tree nodes will contain information:

- Reference to the parent node
- Reference to offspring
- Type of change
- The initial positions of the change in the reference and target sequence
- End position changes in the reference and target sequence

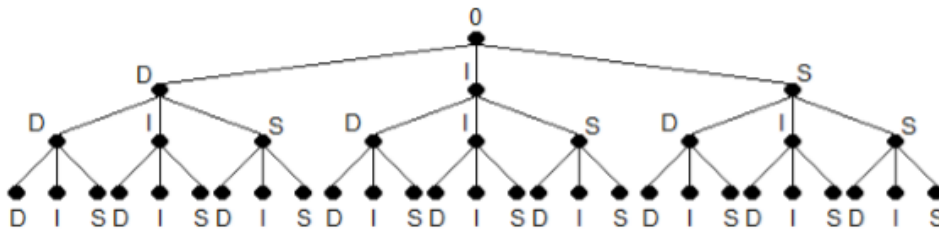


Fig. 1 Ternary tree of changes.

Ternary tree is a simple solution to crawl and compare two sequences. With the information that each node will contain, it is easy to determine which sequence of changes is optimal, and because each node contains parent references, we can write back the entire selected sequence.

Because the number of ternary nodes is exponentially increasing, it is technically very difficult, even impossible, to create one ternary tree for the entire genome of the organism. Therefore, it is necessary to select the appropriate depth of the ternary tree in order to optimize the solution according to the specified requirements and at the same time to determine suboptimal results. By the end of the iteration of the execution of this tree, we get the entire sequence of changes to any long sequence.

### C. Storage of data

To compress the genomic sequences by writing the changes between the target genomic sequence and the reference genomic sequence, it is necessary to code it and write it into the file. It is needed to code:

- The type of change (S - substitution, I - insert, D - delete)
- Position of the evaluated change
- In the case of substitution, the base by which the base has been replaced with respect to the positions in the reference sequence
- In the case of insertion, the base which has been inserted into the target sequence

Due to the fact that the genomic sequence may contain a large number of bases, it is more efficient to write not absolute positions of changes but relative positions, which are relative to the position of the previous change. If we write absolute values of change positions, these values would constantly rise until the end of the sequence, which would result in a much larger amount of data needed to write to the file and thus a larger file.

The relative position of the change is determined as the difference between the location of the current change in the chain and the position of the previous change in the chain.

When writing to a regular text file, the size of one character is 8bits, so for example, changing the insertion of base A on the position 548 would be written without the additional characters as I548A, which would write to the text file 40-bits. This value can be reduced if we create our own character conversion table into binary form.

We can do this because only the characters are used in our compressed file:

- Indication of type of change: S,I,D
- Position change - digits 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
- Type of base: A, C, G, T

For this alphabet defined, a representation in binary form was defined for a smaller number of bits shown in the table 1. Huffman's encoding was used to create this representation of our alphabet.

Table 1  
 Character encoding into binary form

Char	Binary value	Char	Binary value
S	0010	I	0100
D	0011	0	1100
1	0111	2	1011
3	0101	4	1110
5	1101	6	0110
7	1010	8	1000
9	1001	A	11110
C	0000	G	11111
T	0001		

The above-mentioned example I548A string which is written in standard text file in 40 bits is written with the use of proposed code to only 21 bits, which is nearly 50% reduction of the size. The drawback of proposed genomic sequence coding is that it is only machine readable form and therefore it can be used for archiving and transferring but it is impossible to read this code with standard text viewers or editors.

#### IV. TESTING THE PROPOSED SOLUTION

First, it is necessary to test the appropriate depth of the ternary tree, as the number of leafs of the tree grows exponentially. Therefore, with the increasing depth of the ternary tree, it also increases the time of computation and the memory demands. But at too low a tree depth, there is a high probability that the most optimal sequence of changes will not be found, resulting in a worse compression ratio. The figure 2 shows the measured time of computation with respect to the depth of the ternary tree.

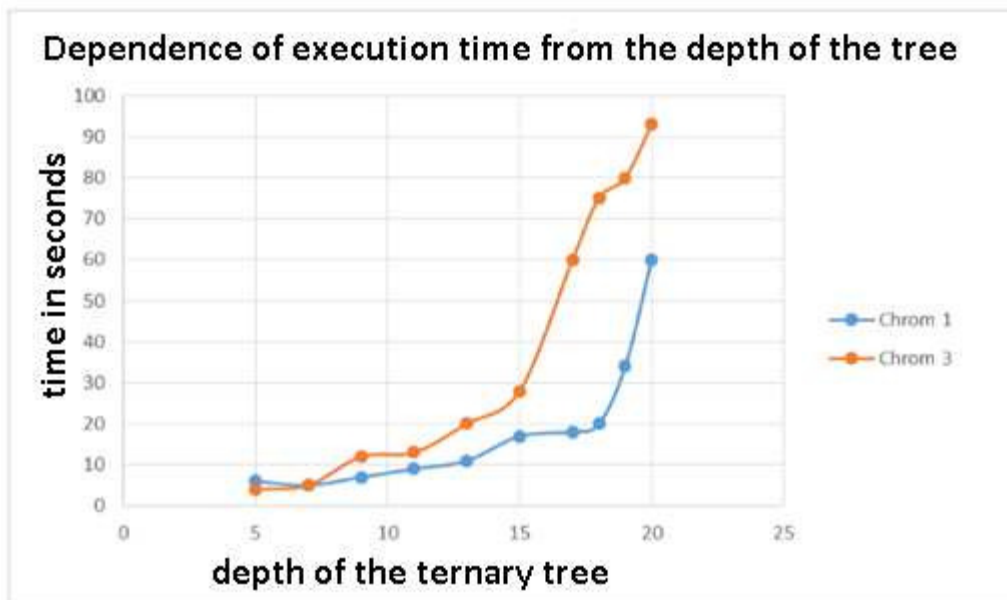


Fig. 2 Time of computation in accordance to the depth of the tree.

For these reasons, it is important to use a tree depth of at least 5, which means 243 leaf nodes and in the same time the time requirement will not grow so fast. However, we should use as much depth as our time and technical conditions allow.

The solution was compared with the GRS and GReEn algorithms on the chromosomes of the TAIR9 genomic sequence using the TAIR8 sequence as the reference. The results are listed in figures 3, 4, 5.

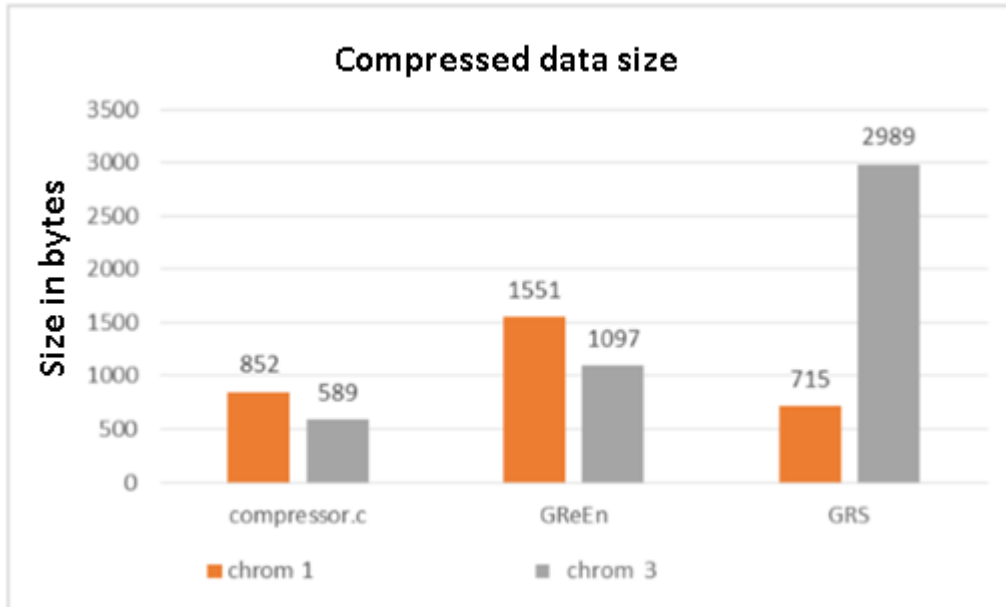


Fig. 3 Comparing the size of compressed data with GReEn and GRS.

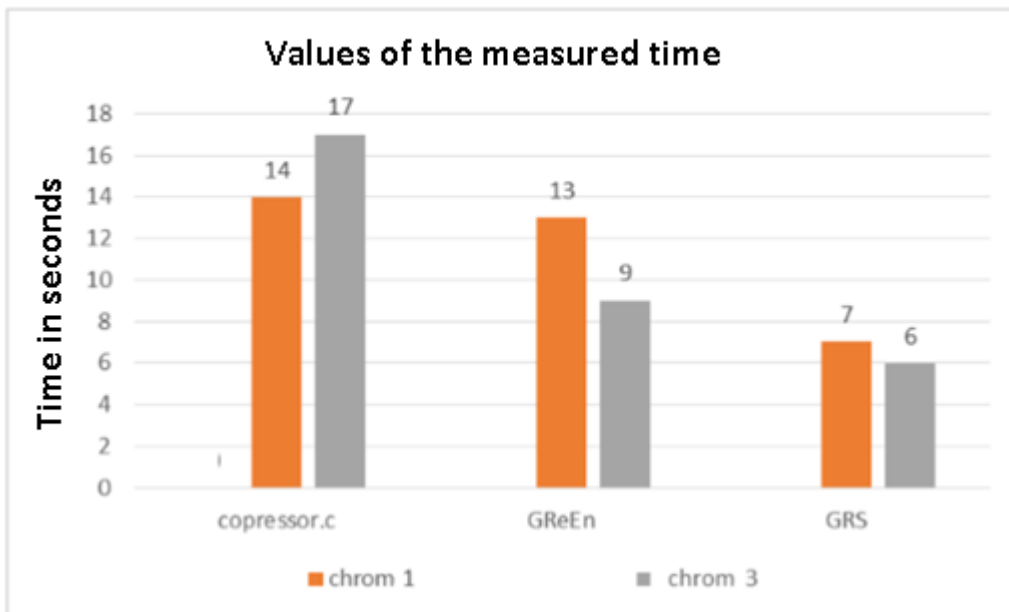


Fig. 4 Compression execution time.

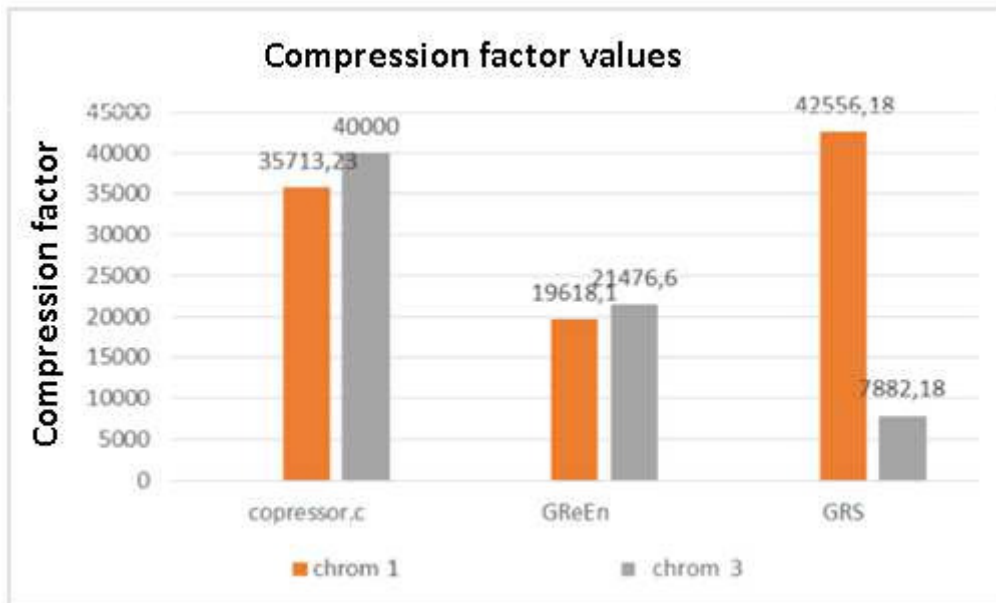


Fig. 5 Compression factor graph.

## V. CONCLUSION

Thanks to modern technologies and research, genomics is advancing at a rapid pace forward. Genomic sequences of different kinds of organisms are obtained for the purpose of examining viruses, diseases, inheritance, inter-species similarities and the like. One problem that needs to be addressed is the size of these genomic code sequences, as one genomic code can be up to a few GB. This is a lot in today's technical equipment and causes difficulties in distributing and archiving these sequences. Therefore, it is important to deal with compression, thus reducing the entries of these sequences.

This paper aims at designing and creating software for genomic code compression. Proposed method is based on the fact that the genomic code of individuals of the same species is 99.9% identical and an algorithm has been designed to compare two sequences and look for three types of changes - substitution, insertion and deletion. These changes are evaluated using a ternary tree. For an even better compression ratio, it encodes these changes into a binary coded sequence.

Subsequently, this solution has been tested and compared with existing GReEn and GRS solutions. When testing the solution, it was found that this solution achieves a good compression ratio, but it takes longer time than GReEn and GRS competing solutions.

## REFERENCES

- [1] Z. Abdellah, "Finishing the euchromatic sequence of the human genome", *Nature*, 431, 931-945, (21 October 2004), Macmillian Magazines Ltd.
- [2] D. S. Pavlichin, T. Weismann, and G. Zona, "The human genome contracts again", *Bioinformatics* (2013) 29 (17): 2199-2202, doi: 10.1093/bioinformatics/btt362.
- [3] C. Wang, D. Zhang, "A novel compression tool for efficient storage of genome resequencing data", *Nucleic Acids Res.* 2011 Apr; 39(7): e45.
- [4] A. J. Pinho, D. Pratas, S. P. Garcia, "GReEn: a tool for efficient compression of genome resequencing data", *Nucleic Acids Res.* 2012 Feb; 40(4): e27.
- [5] D. Pratas, A.J. Pinho, P.J.S.G Ferreira, "Efficient compression of genomic sequences", *Data Compression Conference, Snowbird, Utah, 2016.*
- [6] D.S. Pavlichin, T. Weissman, Yona, G. "The human genome contracts again", *Bioinformatics* 29(17): 2199-2202.
- [7] S. Christley, C. Li, X. Xie, "Human genomics as email attachments", *Bioinformatics* 25(2): 274-275.

# Using FPGA for computationally demanding applications

*Viktor FINDORÁK, Branislav MADOŠ*

Department of Computers and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Letná 9, 042 00 Košice, Slovakia

viktor.findorak@student.tuke.sk, branislav.mados@tuke.sk

*Abstract — The paper deals with the exploitation of FPGA for computationally demanding applications and with the comparison of FPGA and classical microprocessor. The first part of the paper is focused on comparison of the main features of FPGA and CPU and their advantages and disadvantages. The second part of the paper deals with the description of an algorithm that is selected for demonstration of advantage of using the FPGA over classical microprocessor. It is the algorithm of converting a full-color image into shades of gray where the parallelism is well practicable and its modification using thresholding. Then the algorithm is implemented on FPGA and CPU. On the FPGA, three different implementations are created. On the CPU the sequential and parallel solutions are created. The last part of the paper deals with testing the computational speeds of both devices and evaluating the measured results.*

*Keywords — FPGA, CPU, parallelism*

## I. INTRODUCTION

Nowadays, there is a great deal of hardware to perform various computational tasks. For different types of tasks, different types of hardware are appropriate. Some hardware solutions are optimized for energy consumption, others are efficient in computing power or the prize of the hardware. The main purpose of this work is to compare two types of hardware - FPGA and CPU. Field Programmable Gate Array (FPGA) is a semiconductor component that is configurable [1]. Programmable links between blocks of FPGA allow users to implement multilevel logic [2]. The FPGA configuration is defined using Hardware Description Language (HDL).

This work compares implementation of algorithm that is converting full color image to the gray-scale image using FPGA and alternatively CPU. This algorithm is designed to demonstrate the FPGA's performance in certain types of calculations. After implementing this algorithm on FPGA and CPU, the computational results are compared and summarized.

## II. GOALS

The purpose of this paper is to analyze the use of FPGAs for computationally demanding applications and to compare FPGAs and classical processors on a specific example. The first step is to describe the main features of FPGAs and their use in computationally demanding applications. In the next step, it is necessary to analyze the main features of the processors. After writing these features, they are compared to classical microprocessors and FPGAs. Based on this comparison, the main advantages and disadvantages of the FPGAs are written. In the next section, based on the previous analysis, it is necessary to propose criteria for selecting the FPGA. In this part, an algorithm will be designed to compare the FPGA and the classical microprocessor. It will be an algorithm for converting a color image into an image in shades of gray, in which parallelism is well practicable. In the last step, this algorithm must be implemented and tested for all implementations on the FPGA and the classical microprocessor based on the speed of the algorithm's calculation.

### III. ANALYSIS

The main and most significant difference between microprocessors and FPGAs is that the FPGA does not have a fixed hardware structure, but is programmable according to user requirements [3]. On the other hand, processors have fixed, optimized hardware structure [4]. All operations the processor can do (addition, multiplication, administration of input and output) are predefined [5].

#### *A. Advantages of FPGA*

The hardware structure of FPGA is not fixed and is defined by the user. Even though the logical cells in FPGA, the functions they perform, and the interconnections between them are defined by the user. Processes can run according to the HDL code in parallel. Parallel processing capability is one of the most important features that separate FPGA from processors and give it an advantage in many areas.

In addition, FPGAs enable the efficient execution of different kinds of parallel computations. Although the calculation cannot be divided into separate pieces, its performance (number of operations per second) can be greatly increased by overlapping their execution over time. In addition, fine-grained matching allows a massive parallel calculation at bit level or variable length of words. Additionally, for certain applications, the FPGA may have an even greater density than the ASIC. For example, when processing filters for signal and image processing or encryption algorithms. On the other hand, FPGA implementation can use the input values of weights, keys and signatures, as soon as they are available, by spreading circuit values and reconfiguring them, thereby eliminating hardware overhead. Processors do not provide the ability to reconfigure its hardware [5].

#### *B. Disadvantages of FPGA*

In the previous paragraph, areas where FPGAs provide better performance than conventional microprocessors (sometimes ASICs) have been described. However, this does not apply to any calculations. In fact, the process of configuring a circuit in the FPGA is much slower than loading instructions in the processor. This is in part due to the much longer configuration word - some Mb in today's FPGAs, compared to 64-bit instructions of modern microprocessors and partly due to serial memory configuration techniques commonly used in the FPGA.

Another advantage of microprocessors is the clock speed which processors have much higher than FPGAs. However, this disadvantage can be eliminated in the FPGA by using parallelization. Another advantage of conventional microprocessors is power consumption. Today's processors are much more cost-effective than FPGAs, but low-end power-optimized FPGAs have microprocessor-like power consumption.

### IV. SOLUTION AND RESULTS

To demonstrate the FPGA's performance in specific applications was selected an image processing algorithm. This type of calculation was selected based on the criteria mentioned in the previous chapter. The advantage of FPGA for these types of tasks is a massive parallelism that allows to handle multiple tasks at once. Used for high-performance calculations, it is often referred to as data parallelization. The calculation is carried out by an independent number of tasks that process an independent amount of data [6]. Therefore, despite the lower clock rate of the FPGA module, better results can be achieved in comparison with current microprocessors. In this section, the implementation of the full-color to grayscale image conversion algorithm will be described.

Each image consists of a certain number of pixels arranged in two-dimensional mesh. Each pixel consists of red green and blue color component (RGB). Each color component of the pixel is from the range of 0 to 255. The value of pure red is defined by the value (255.0.0), the pure green value is (0.255.0), and the pure blue value is (0.0.255).

The principle of encoding a gray-shaded image is to set all three values of RGB color components to the same value from the range 0 to 255, for example RGB=(49, 49, 49). For example, white color is characterized by a triple of values (255,255,255), a black color has triple of values (0.0.0), and the mean tint has values (127,127,127). The higher the values, the brighter the shade. The following figure shows how to process conversion from RGB to grayscale (Figure 1).



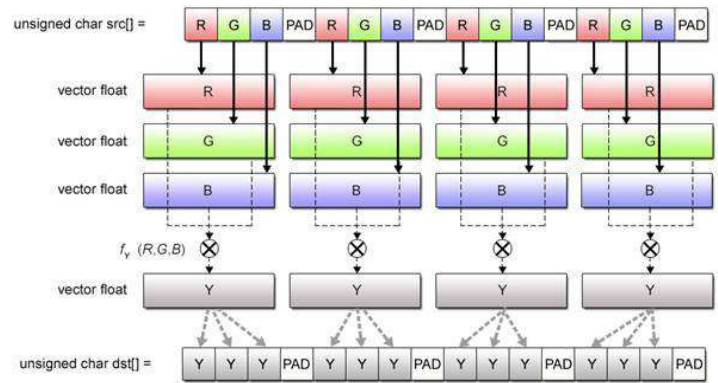


Fig. 1 Conversion from RGB to gray-scale.

In this work is used the method of brightness, which is most often used in converting RGB images to gray shades. This method is defined by the formula:

$$gray = (Red * 0.299 + Green * 0.587 + Blue * 0.114)$$

### A. Implementation in the FPGA

The above-mentioned method is implemented in FPGA using VHDL language and Xilinx ISE Design Suite 14.7. VHDL language was used for the description of the hardware configuration of FPGA. The Spartan 3 AN development board was used for simulation.

The simplified scheme is shown in the figure 2. It consists of three multipliers that multiply the color values of individual pixels with coefficients and two adders that add multiplier outputs. Inputs are defined as fields with full positive 8-bit values. When multiplying with individual coefficients, the coefficients are shifted 8 bits to the left so that the given values are integer. After multiplying, the result is shifted 8 bits to the right again.

Implementation on the FPGA is done in three ways. In each design, multipliers are used that are implemented in FPGA module. The main difference is what adders are used.

In the first design, FPGA uses internal adders. In the second design, Ripple Carry Adder (RCA) is used. The latest design uses the Carry Look-Ahead Adder (CLA). It is mainly a comparison of the calculation speed and the possibility of using FPGA resources.

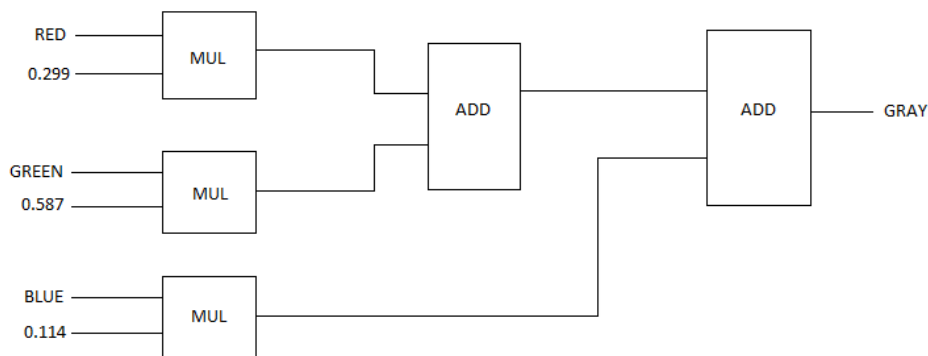


Fig. 2 Simplified RGB to gray-scale converter scheme.

### B. Implementation in the CPU

For performance comparison, the algorithm for converting RGB images to shades of gray was designed and tested on the classical of-the-shelf microprocessor. The algorithm is designed in C language and tested on the Intel® Core™ i5-4200M processor. Two designs were proposed and tested on this microprocessor. Since the tested processor is a 4-core processor, the algorithm can be finely paralleled to each core. The processor contains two cores, each of which can be divided into two other virtual cores.

Another factor influencing CPU speed is cache memory usage. It is the fast cache used by the processor to reduce access time to the main memory. This memory is smaller and faster than the main memory and stores the most commonly used data from the main memory. If the processor finds the cache data in execution, we call the cache hit if there is no, cache miss. The cache hit rate to the cache miss is referred to as hit rate and is a measure of cache efficiency. Each cache miss is responsible for slowing down the calculation. Therefore, with the given algorithm, consider the size of the data that the processor is working on. The cache memory speed is in the order of 10 nanoseconds, with the speed of the memory being mostly hundreds of nanoseconds. Most modern processors contain three levels of cache memory (L1, L2, L3). The L1 memory is closest to the processor and is the fastest (about 1ns). The CPU uses the L2 memory if the cache miss occurs when logged into L1. It has more capacity but less write speed (about 5 ns). The third level of cache memory is the L3 cache, which has a much larger capacity but a transfer rate of only about 10 ns. The L1 cache size on the tested processor is 128 KB, the L2 memory is 512kB, and the L3 is 3MB.

Since the CPUs are alternating all CPU cores, CPU usage is relatively inefficient. During the implementation of the algorithm, the CPU was loaded at an average of 37 percent, with the processor load before the code was on average 8 percent. This indicates that the processor load on the algorithm is about 30 percent.

As it was mentioned above, the FPGA's main advantage is parallelization. Also the CPU is capable of parallel computing. Because the algorithm is tested on a two-core processor that can logically split into two other cores, the algorithm can be performed separately on each of the cores. FPGA can use 24 parallel calculation modules for the given algorithm, limited by the number of I/O units.

### C. Comparison of implementations in FPGA

The following graph shows a comparison of the number of calculations per second for circuits designed on the FPGA module. The graph compares solutions with internal adder, ripple carry adder, and CLA adder. The graph also includes results using a comparator for all three types of designs (Figure 3).

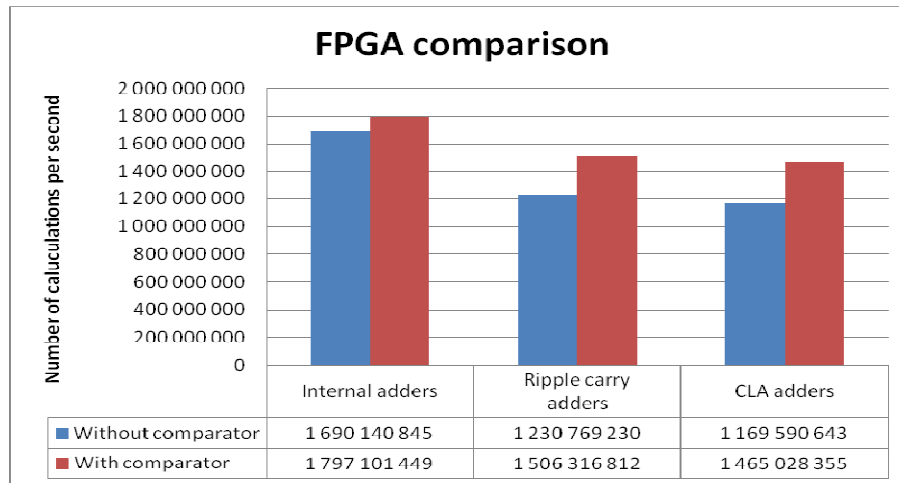


Fig. 3 FPGA comparison.

From the previous chart can be seen, that the implementation using internal adder was able to perform the largest number of calculations in one second. The second highest number of calculations per second was made by the adder circuit with ripple-carry adder and lowest number of calculations was made by design using CLA adders. Algorithm was then modified by adding comparator for thresholding of the output value and performance tests were conducted again. Because output of the module was not 8 bit but only 1bit per module, more conversion modules were implemented into FPGA and that is why higher performance in number of calculations was achieved.

#### D. Comparison of implementations in CPU

The following chart shows the CPU computation results using sequential processing, parallel co-processing using two cores, and parallel processing using four cores. The chart also contains results for additional use of comparator (Figure 4).

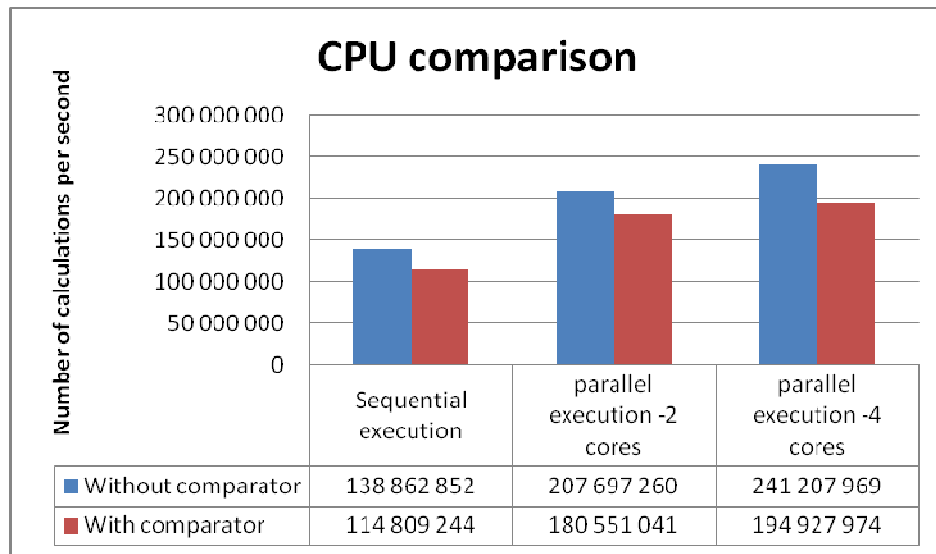


Fig. 4 CPU comparison.

In the previous chart, we can see that the use of multiple cores for parallel computing has accelerated. However, this acceleration is not double even with the use of four cores. The difference between the use of two and four cores is about 16 percent.

#### D. Comparison of FPGA and CPU

When comparing the fastest sequential implementation to FPGAs and sequential CPU implementation, the processor achieved better results. Comparison can be seen in the following chart (Figure 5).

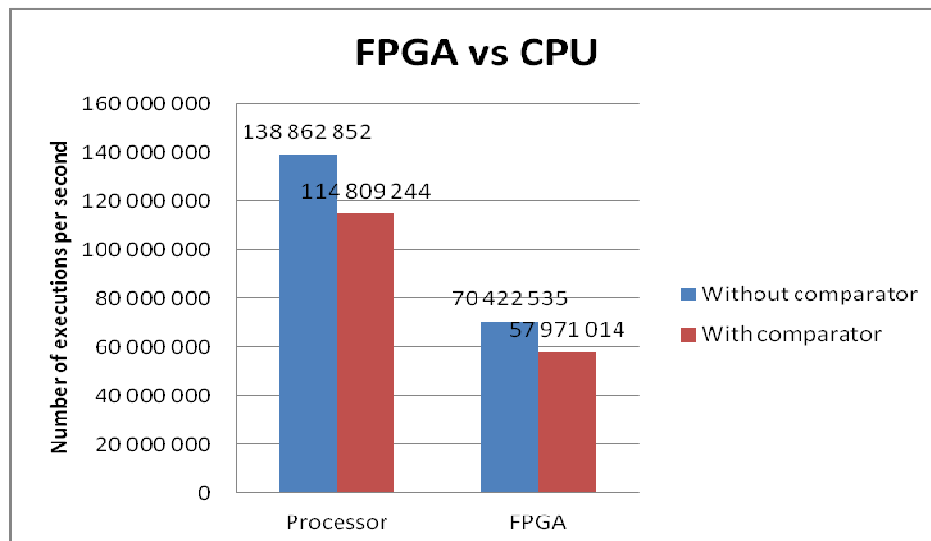


Fig. 5 FPGA vs CPU.

As the graph shows, the processor is faster by almost half. In the previous chapters, however, the parallelism as the main advantage of the FPGA was mentioned. Because in previous designs the FPGA has been able to process 24 calculations in parallel, comparison between parallel implementations of algorithm in FPGA and CPU is already in favor of the FPGA. The following chart shows results of image conversion from RGB to gray-scale on CPU and FPGA (Figure 6).

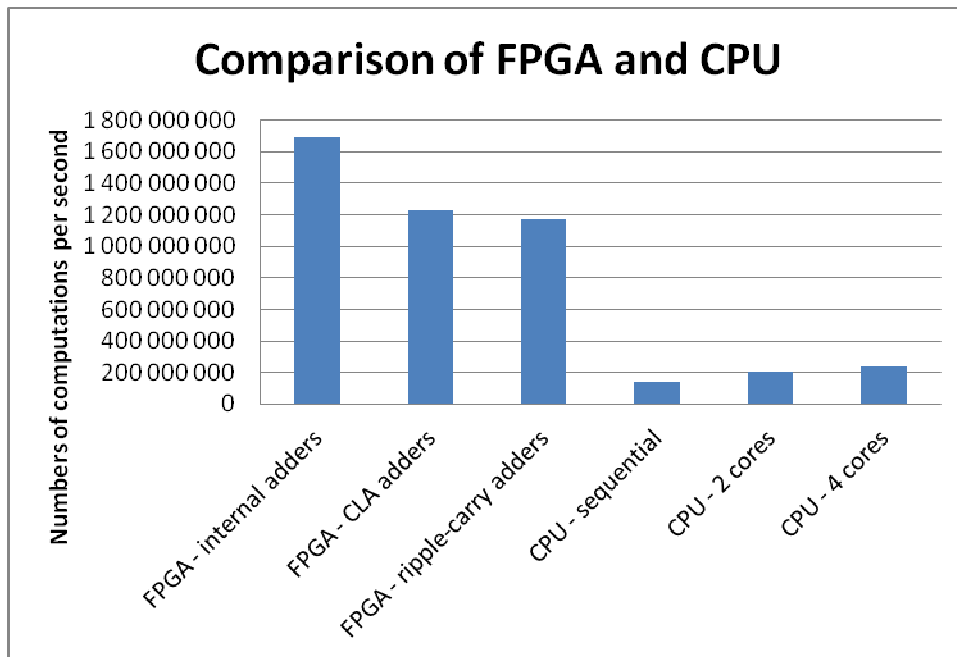


Fig. 6 Comparison of FPGA and CPU.

In the previous chart, calculations performed by particular implementations on FPGAs and CPUs were summarized. Circuits designed on the FPGA have reached 7 times faster computing speeds than CPU implementations. The main factor that played a role in these calculations was the parallelization that the FPGA is capable of. After the comparator is added, the results of each implementation are shown in the following figure (Figure 7).

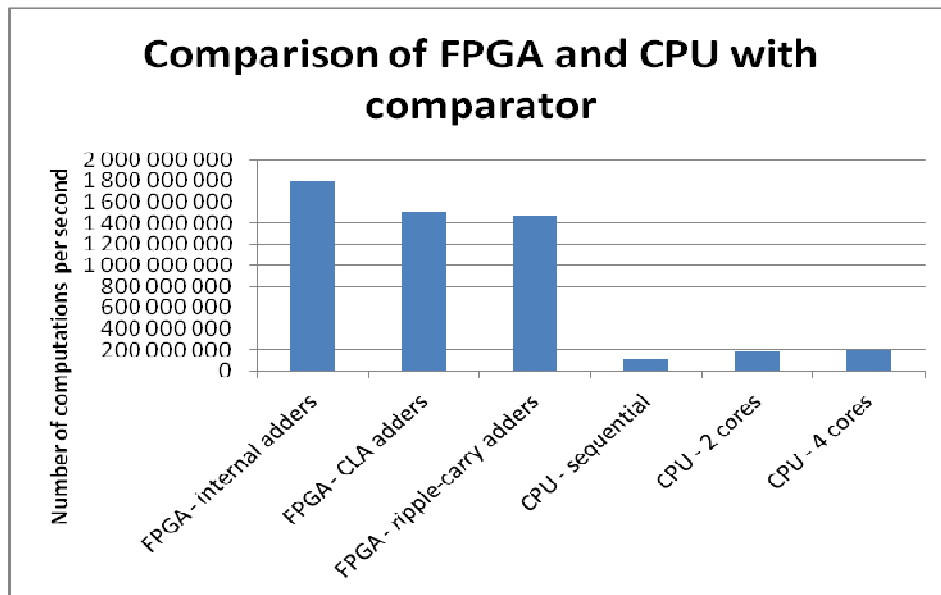


Fig. 7 Comparison of FPGA and CPU with comparator.

From previous comparisons, it is clear that the behavior of both devices, the FPGA and the CPU, is different. When comparator was implemented, in FPGA, due to the bigger number of computing modules implemented, the speed of calculations was higher. In CPU implementation, after the incorporation of comparator to the design, the speed of calculations, in accordance to the expectations, became lower.

## V. CONCLUSION

The aim of the paper was to analyze the use of FPGAs in computationally demanding applications and to compare the advantages and disadvantages of FPGA over the classical microprocessor. Based on these findings from the analysis, it was necessary to propose criteria for the use of the FPGA. After the criteria were established, a full-color image conversion algorithm was implemented that converts the image to the gray-scale for the microprocessor and for the FPGA. The last part of the paper summarizes the testing and evaluation of given implementations.

The analysis showed that the main advantage of FPGA compared to processors is the possibility of massive parallelism. Despite lower clock rate, they can achieve better results in certain types of applications. These are, for example, applications that need to perform one type of calculation many times on significant amount of data.

In the chapter that dealt with the testing of these implementations, it was found that the advantage of FPGA parallelization helped to achieve better results in comparison with the CPU. When measuring the results in parallel processing of the algorithm on both devices, the processor achieved approximately 30% better results. However, with parallel processing, FPGA implementations have achieved much better computational results. Implementation on the FPGA was largely limited by the number of I/O units. At 97%, it was possible to run 24 computations in parallel. The processor was limited by the number of cores and also by the impossibility of using a fast caching memory. After comparing the fastest implementations on both devices, implementation on FPGAs using custom adder was approximately 10 times faster than the CPU design that used 4 cores in parallel. After using the comparator, the solution was optimized and it was confirmed that when using this algorithm on the FPGA, the execution time was visibly accelerated, while it slowed down on CPU implementation.

## REFERENCES

- [1] S. M. Trimberger, "Field-Programmable Gate Array Technology", Springer Science+Business Media New York, 1994, pp. 258, ISBN: 978-0-7923-9419-8.
- [2] "FPGA Architecture for the Challenge", [online],[cit. 2016-10-20]. Online: [http://www.eecg.toronto.edu/~vaughn/challenge/fpga\\_arch.html](http://www.eecg.toronto.edu/~vaughn/challenge/fpga_arch.html).
- [3] V. Kindratenko., D. Pointer, D. Raila, C. Steffen, "Comparing CPU and FPGA Application Performance", February, 21<sup>st</sup> 2016.
- [4] Giao, L., "Comparison between FPGA and microprocessor", March 13, 2013, [online],[cit.2017-01-15]. Online: <https://gtms1335.wordpress.com/2013/03/13/comparison-between-fpga-and-microprocessor-2/>
- [5] Waser, R., "Nanoelectronics and Information Technology, 3<sup>rd</sup> edition", Wiley, April 2012, pp. 1040, ISBN: 978-3-527-40927-3.
- [6] C. M. Herbordt, T. VanCourt, Y. Gu, B. Sukhwani, A. Conti, J. Model, and D. DiSabello, "Achieving High Performance with FPGA-Based Computing", Computer (Long Beach Calif). 2007 Mar 1; 40(3): pp. 50–57.

# Volume data conversion and storage in Volumetric Picture Format

*Milan LEŠKANIČ, Branislav MADOŠ*

Department of Computers and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

milan.leskanic@student.tuke.sk, branislav.mados@tuke.sk

**Abstract** — Volume data is produced, processed and archived in many scientific, industrial and especially medical fields using various dedicated or universal hardware devices and software applications. Volume data is often obtained as the three dimensional grid of scalar values or vectors of values and can represent significant amount of data in the range from several MB to several TB. Storage of such big volumes of data and manipulation in the meaning of opening data and transferring it from secondary storage to the operation memory of computer, or transferring through computer network, can be a big challenge and can be the subject of optimizations. That is why this paper deals with the design of the new file format for volume data storage, called the Volumetric Picture Format (VPF). Paper also introduces designed solution, which is in the form of software application that is supporting the conversion of big volume data from different file organizations into the Volumetric Picture Format (VPF).

**Keywords** — volume data, file conversion, VPF format

## I. INTRODUCTION

There is traditional approach to the 3D modeling in computer graphics, which can be described as the development of the mathematical representation of the 3D objects surface. The output of the process, called 3D model, can be represented via textured polygonal meshes, Non-Uniform Rational Basis-spline (NURBS) patches, constructive solid geometry (CSG), implicit surfaces or subdivision surfaces. It is possible to use the 3D model without its visualization for example in physical simulations, or it can be visualized either in 2D by the use of the 3D rendering, or in 3D with the use of volumetric displays or 3D printers, which are creating three dimensional objects by laying down layers of material (additive manufacturing technology). In the case of 3D rendering, because the light interacts only with the surface of 3D objects, this method lacks the possibility to take into account different atmospheric phenomena and interior of objects [1].

Another approach to the 3D modeling is called volume modeling which comprises set of methods that are generating models and their visualizations from three dimensional volume data sets that are usually comprising scalar values which are representing respective voxels (volume elements). 3D models are visualized by direct volume rendering, extraction of iso-surfaces or other techniques. Original motivation for volume rendering was in scientific visualization, when data has been acquired in medicine by Computed (axial) Tomography (CT), MicroCT, Magnetic Resonance Imaging (MRI), in industrial applications like flaw detection, failure analysis, metrology, assembly analysis, reverse engineering and others the industrial CT can be the source of volume data. Other examples are Computational Fluid Dynamics (CFD).

Volume data is a sampled scalar or vector field with three spatial dimensions [2]. Three dimensional data set is forming regular three dimensional grid of one scalar value or more scalar values organized into vectors that are representing some physical quantity eg. density, temperature etc. Elements of the grid are called voxels (voxel = volume pixel). According to the spatial resolution and number of bits per voxel the 3D data set can be relatively small, for example volumetric picture with 256 x 256 x 256 voxels and 8 bits scalar value per voxel means 16MB of data, or can represent significant amount of data, when for example 4K x 4K x 4K voxels with four 32-bits scalar values per voxel means 1 TB of data.

Very useful overview of high-quality volume data rendering with the use of consumer graphics hardware can be found in [3]. Attention is paid also to the compression of volume data and different data structures such as the Sparse Voxel Octrees (SVO) [4], Sparse Voxel Directed Acyclic Graphs (SVDAG) [5] or Symmetry-Aware Sparse Voxel Directed Acyclic Graphs (SSVDAG) [6] were developed.

## II. VPF FILE FORMAT

### A. Introduction of the format

The Volumetric Picture Format (VPF) file format was created as the concept which advantage is in manipulation with the data through the process of opening file and transferring data from secondary storage to the operation memory of computer, because the file format tags volume data with the metadata according to its importance and allows transfer of different amount of data according to users selection in time of file reading. File format is designed for storage of unfiltered (raw) original data from different kinds of devices. No compression of image information was used in the version of the format described in this paper.

### B. File structure

The VPF format starts with the meta information header. The content of the header is described in Table 1.

Table 1  
 Header of VPF file

Size in bytes	Description
6	Format identifier
2	x-size of the picture in voxels
2	y-size of the picture in voxels
2	z-size of the picture in voxels
1	Subcube size
1	Treshold
array_size	Subcubes mask

All header elements are *unsigned char* type. The 'V', 'P', 'F', '!', '0', '1' characters describe the format version. Following are the dimensions of the 3D volume, the size of the subcubes. They are followed by the mask of the subcubes metadata in the three-dimensional field format. Each element can acquire one of three values, 0 (00), 1(01) or 2(10), depending on the data partitioned into this subcube. If the data represents only the surrounding of the scanned object, so the values are smaller than the threshold and the mask element is set to 0. If all the data of the subcube is located inside the scanned object, without a single point of the environment, the element will have a value of 1. And if the data stored in the subcube with the current position index in the three-dimensional array contains the boundary points of the scanned object, the mask has the value of 2. The size of this field depends on the size of the subcubes and size of volume data. It is expressed by the relationship (1)

$$array\_size = \frac{x}{s} x \frac{y}{s} x \frac{z}{s} \quad (1)$$

where:

- $array\_size$  is size of 3D array with subcube masks,
- $x$  is x-size of volume data in voxels,
- $y$  is y-size of volume data in voxels,
- $z$  is z-size of volume data in voxels,
- $s$  is subcube size.

This ends the file header. Its total size is the sum of elements with a constant size (14 bytes) and the size of the  $array\_size$  mask field. Next, unfiltered image data follows. Each voxel is in *unsigned char* format, so it gets values from 0 to 255 in gray shades. The size of the data is dependent on the size of volume data. It is expressed by the relationship (2)

$$size = x * y * z \quad (2)$$

where:

- $size$  is size of three dimensional volume data array in bytes,
- $x$  is x-size of volume data in voxels,
- $y$  is y-size of volume data in voxels,
- $z$  is z-size of volume data in voxels.

Raw data stored in the file is divided into subcubes, and particular subcubes content is written into the file in linear manner, starting from the subcube with coordinates 0, 0, 0 until the subcube which contains data with highest coordinates in all x, y and z-axis. Order in which particular subcube coordinates are incremented is x-axis, y-axis and z-axis. Number of subcubes on particular axis is integer value from 1 to 65536 and can be calculated as the size of volume in particular axis divided by subcube size. Because it can be not only integer number, it is rounded up (Figure 1).

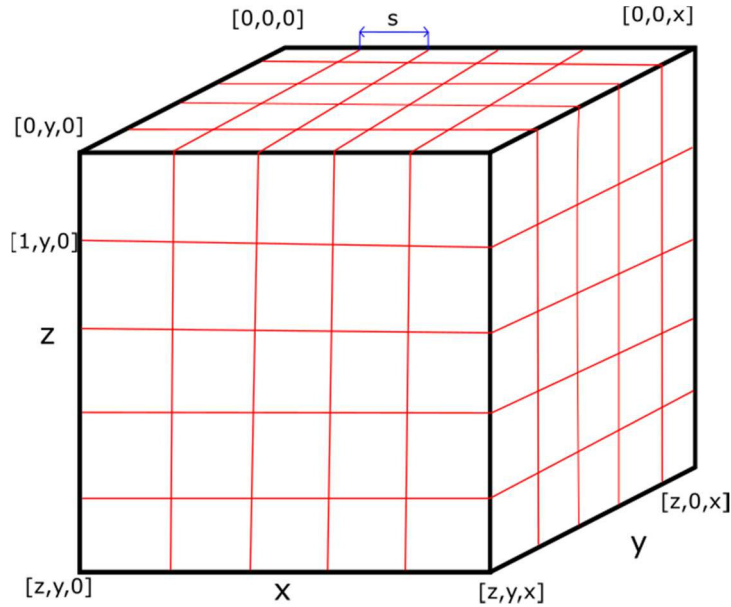


Fig. 1 Order of subcubes in volume data.

At the Fig. 1,  $x$  is the size of the image in x-axis,  $y$  is the size of the image in y-axis,  $z$  is the size of the image in z-axis and  $s$  shows the size of the subcube. The structure of the subcube is very similar as the whole volume and is shown in Fig. 2. As mentioned above,  $s$  is representing the size of the subcube and the individual elements of the subcube are volume data representing particular voxels. The subcube coordinate system is the same as the complete volume coordinates. The content of these subcubes is written in the same way as the subcubes themselves within the entire dataset.

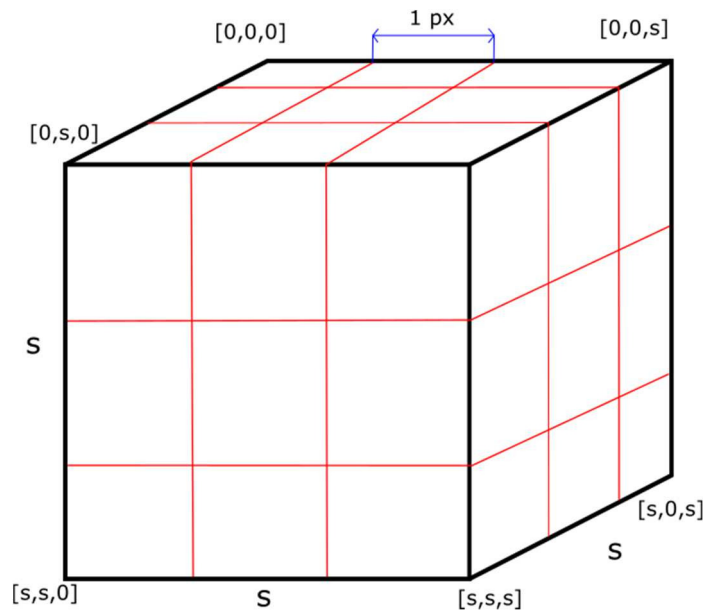


Fig. 2 Structure of subcube in VPF file.



### III. CONVERTER

In order to guarantee correct data conversion to the format described above, *Converter* software has been designed and implemented that can not only convert raw data to VPF format, but also changes the structure of the file according to the selected criteria. Figure 3 shows the user interface of the converter which has been written in C++ programming languages using the Qt library.

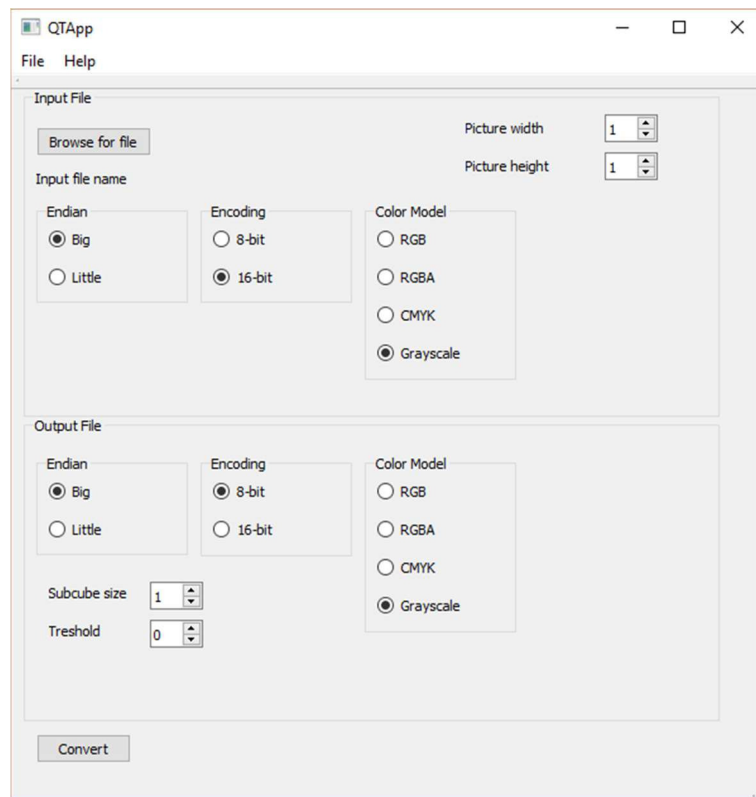


Fig. 3 User Interface of the Converter software application.

### IV. CONVERSION ALGORITHM

The data conversion algorithm implemented within this conversion software is straightforward. After the program is started, the user interface appears as it is shown in the Figure 3. Conversion input files should contain raw data without a header. Each file must contain a single frame, otherwise inaccuracies occur in the resulting file.

The input files are specified by clicking the *Browse for file* button. In this dialog all files must be selected that user wants to convert at once. Next, it is necessary to specify the volume size with the appropriate user interface controls. After selecting all the necessary input and output file attributes, it will start the conversion with the *Convert* button. The called dialog prompts for the name and location of the output file.

Each of the input files is then opened in binary data read mode and looped through in two loops to ensure correct data retrieval. At this point, the program will take care of the correct transfer of data according to the user's chosen options.

To ensure that the file format is correct, you need to find all the empty places in the loaded images. It starts by looping through border frames and indications of empty places in them. Subsequently, on the basis of these points, it will act as if the model is filled in on each side through these empty points, thus detecting the amount and positions of empty places and places where the scanned object is already beginning. On the basis of this information, it is possible to divide the data into the mentioned subcubes and fill in their masks found in the file header. Masks will indicate whether they are blank cubes not containing data, cubes containing the edges of the scanned object or the inside of the object.

The last step to concluding data conversion is to write the data itself in a suitable form to a file. The beginning of the file is a header, followed by the metadata written for the individual subcubes and then raw volume data ordered in subcubes.

V. TESTING AND RESULTS

Data obtained from medical devices has a raster form. After joining a three-dimensional model, they often reach a considerable size. To work as smoothly as possible with such files, it is needed to know what medium provides the highest data transfer speed for different types of connections. Testing of data loading speed took place with different buffer size used for cyclic loading of the block of file. Ten measurements of each device were performed, with each cache size. The data obtained was then processed and the mean results are shown in the Tab. 2 and Tab. 3.

Table 2  
 Average results of file reading

Device name	Connection type	Time passed based on buffer size				
		1	2	4	8	16
ADATA S102 PRO 64GB 3.0	USB 2.0	167.05	84.77	46.43	24.93	14.99
	USB 3.0	96.67	49.43	25.97	14.28	8.46
Kingston DT R3.0 G2 16GB	USB 2.0	166.29	84.88	49.21	26.18	15.83
	USB 3.0	96.91	49.74	26.18	14.37	8.50
Samsung SSD 850 Pro 256GB	SATA II	151.32	82.97	42.64	22.67	12.69
Kingston SSD KC400	SATA III	96.44	48.45	25.24	13.14	7.32
Intel® SSD 520 Series	SATA III	95.42	48.40	48.40	26.62	7.45
Seagate SV35.6 ST1000VX000	SATA III	109.02	54.24	27.85	14.65	8.00

Table 3  
 Average results of file reading

Device name	Connection type	Time passed based on buffer size				
		32	64	128	256	512
ADATA S102 PRO 64GB 3.0	USB 2.0	9.97	7.67	6.46	5.79	5.43
	USB 3.0	6.18	4.35	3.52	3.07	2.83
Kingston DT R3.0 G2 16GB	USB 2.0	10.65	8.28	6.90	6.31	5.89
	USB 3.0	6.17	4.35	3.51	3.04	2.84
Samsung SSD 850 Pro 256GB	SATA II	7.73	5.34	4.11	3.44	3.13
Kingston SSD KC400	SATA III	4.99	3.21	2.34	1.92	1.70
Intel® SSD 520 Series	SATA III	5.05	3.24	2.42	1.99	1.77
Seagate SV35.6 ST1000VX000	SATA III	5.36	3.34	2.49	1.95	1.67

From the data provided, it is clear that, independently of the type and theoretical connection speed, the data reading rate increases proportionally with increasing the cache used to load the blocks of data. In the search for the most appropriate and fastest type of data manipulation, ultimately the most essential software is designed and used to handle large data. On the graph at Fig. 4 is the dependence of the time of loading a 3GB file on the cache size applied to the partition file read. Axis x represents an increasing buffer size in bytes, y axis is the average time required to load the entire test set. For better readability, there are only three types of media connections: USB 2.0 (blue curve, ADATA S102 Pro), SATA II (gray curve, Samsung SSD 850 Pro) and SATA III (yellow curve, Intel SSD 520 Series). Tested devices connected with USB 3.0 have speeds very similar to SATA III. The differences between the devices within the same interface types were minimal and could not be seen in the graph; therefore, devices representing the different types of interfaces were randomly selected.

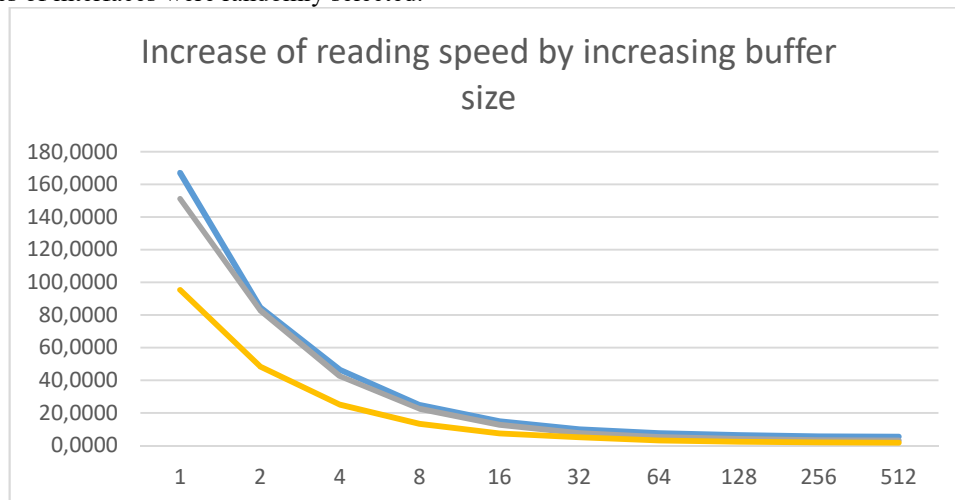


Fig. 4 Increasing speed in seconds of reading the file.

## VI. CONCLUSION

The paper described a solution for storing digitalized three-dimensional volume data in experimental volume data file format, while maintaining simple access and structure. There is also a suggested program solution for converting existing raw data into this format. This solution can be further expanded, whether within the accuracy of archived data, supporting the differentiation of information using different color models, or developing software capable of displaying such files in three-dimensional space and, if necessary, manipulate them further.

## REFERENCES

- [1] J. Kruger and R. Westermann, "Acceleration techniques for gpu-based volume rendering", In VIS 03: Proceedings of the 14th IEEE Visualization 2003 Conference. New York, NY, USA, 38–42.
- [2] M. Levoy, "Efficient raytracing of volume data" ACM Transactions on Graphics (TOG) 9, 245–261.
- [3] K. Engel, M. Hadwiger, J. M. Kniss and C. Rezk-Salama, D. Weiskopff, "Real-Time Volume Graphics", A K Peters, Ltd., Wellesley, Massachusetts, ISBN: 978-1-56881-266.
- [4] J. Baert, A. Lagae, P. Dutrée, "Out-of-core construction of sparse voxel octrees", In Proceedings of the 5th High-Performance Graphics Conference. HPG '13. ACM, New York, NY, USA, 27–32.
- [5] V. Kämpe, E. Sintonin, U. Assarsson, "High resolution sparse voxel DAGs", ACM Trans. Graph. 32, 4 (July), 101:1–101:13.
- [6] A.J. Villanueva, F. Marton, E. Gobbetti, "SSVDAGs: Symmetry-aware sparse voxel DAGs", In Proceedings of the 20th ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games. I3D'16. ACM, New York, NY, USA, 7–14.

# Author's index

## A

Andráš Imrich 337, 619

## B

Babič František 44, 50, 131, 211, 217

Bačíková Michaela 500, 521

Bako František 187

Bednár Matej 455

Bednár Peter 532, 547

Belanová Dorota 348

Beňa Lubomír 143, 149, 154, 160, 165

Biroš Jozef 115

Biroš Milan 671

Bonk Juraj 506

Butka Peter 392, 398, 404, 410, 416, 468

## C, Č

Cabúk Pavol 512

Cádrík Tomáš 624

Cibuľová Petra 246

Červeňáková Júlia 474

Čisárová Simona 449

Čížmár Martin 275

Čonka Dávid 311

## D, Ď

Deák Aleš 438, 506

Doboš Lubomír 40, 56, 72, 365, 480

Dolinský Pavol 543, 613, 634

Drab Gabriel 353

Dragan Peter 234, 240

Drozd Ján 433

Drutarovský Miloš 205, 306, 326

Dzivák Peter 634

Ďug Marián 171

Ďurišin Juraj 512

Ďurovský František 671

## E

Eldojali Mohamed Ali M. 319, 342

Erdelyi Juraj 543

## F

Fabini Jozef 178

Faško Filip 302

Feciľak Peter 438, 628

Fedor Pavol 271

Fedorová Dominika 468

Ferková Želmíra 267

Figura Patrik 638

Findorák Viktor 699

Foltín Jaroslav 223

Forrai Richard 171

## G

Gajdoščík Martin 416

Galajda Pavol 643, 654

Gašpar Vladimír 187, 195, 302, 486

Gáll Vladimír 422

Gdovin Dominik 648

Genči Ján 592, 659

Gereg Slavomír 537

Girovský Peter 491

Gladišová Iveta 16, 32, 102, 598

Greššák Jozef 537

## H

Hajduk Vladimír 609

Halás Pavol 250

Hančar Miroslav 337

Hasin Martin 306

Havlice Zdeněk 171, 372, 379, 638

Hornýáková Alexandra 296

Hrabčák Dávid 72, 365

Hric Erik 527

Hudák Marián 582

Husovský Rastislav 281

Huszaník Tomáš 62, 67, 137

## I

Ilenin Stanislav 455, 459, 463

Ilko Marek 438

Ivaniga Tomáš 62, 67, 120, 126, 137

## J

Jacho Ladislav 495, 527, 553, 582

Jakab František 223, 433, 438, 449, 506

Jelínek Patrik 10

Juhár Jozef 311, 537, 576

Jurč Rastislav 613

## K

Kainz Ondrej 223, 433, 438

Kardoš Slavomír 516

Kažimírová Kristýna 195

Klešč Marián 675

Kmecová Andrea 211

Koctúr Tomáš 359

Kochaniková Žaneta 342

Kolcun Michal 681, 687

Kolesár Pavol 693

Konečný Martin 315

Korečko Štefan 495, 527, 553, 582

Kosterec Michal 143, 149, 154, 160, 165

Kováč Ondrej 32, 36

Kravcová Lucia 191

Kravec Samuel 463

Kudrík Tomáš 557

Kuchár Luboš 120, 126

Kulbaga Peter 563

Kurimský Peter 569

Kurinec Matej 628

Kuzmová Natália 410

## L

Leškanič Milan 706

Levický Dušan 609

Lojka Martin 576

## M

Maceková Ludmila 386

Madoš Branislav 693, 699, 706

Magyar Ján 659

Mach Marián 115, 191, 315, 348, 624

Majerský Marek 428

Makovický Peter 91

Matejkov Dávid 521

Matis Martin 40, 72, 365

Márton Michal 83, 91, 107, 110, 143, 149, 154, 160, 165

Medved Dušan 199, 648, 675

Mészáros Alexander 229, 422, 428, 569

Mihalík Ján 16, 598

Mihályi Daniel 10

Mihok Marek 592

Michaeli Linus 275, 543, 613, 634

Michalko Miroslav 223, 433, 474

Mikula Peter 205

Mišev Michal 26

Muchová Miroslava 287, 291

Myshun Yuliia 404

## N

Nagyová Barbora 291

Nezník Dominik 56, 72

Novák Juraj 386

Novotná Veronika 398

Nyulászi Ladislav 468

## O

Oklamčák Patrik 491

Olejár Jaroslav 217

Olejár Ján 516

Ondáš Stanislav 281

Oravcová Katarína 44

Oravec Jakub 95, 99, 234, 240

Ovseník Luboš 62, 67, 78, 83, 87, 91, 95, 99, 107, 110, 120, 126, 137, 178, 183, 234, 240, 443, 446, 603

## P

Palitefka Roman 480

Papaj Ján 296, 365, 480

Paralič Ján 287, 291, 331, 557, 563

Pastornický Peter 495, 527, 582

Pavlík Marek 353

Pečovský Martin 643, 654

Perduková Daniela 271, 586

Petrušková Veronika 379

Plotth Martin 229

Popadák Peter 107, 110

Porvazník Tomáš 255

Pracelová Kamila 547

Prepilka Michal 609  
Prevužňák Alexander 319  
Pulik Jaroslav 500

## **R**

Rakoci František 603  
Repková Stanislava 50  
Richter Kevin 131  
Rohalová Laura 392  
Rončík Peter 259  
Rosinová Marianna 576  
Rusiňák Matúš 20

## **S, Š**

Saraiva João 527  
Sarnovský Martin 246, 250, 255, 259,  
263  
Slovák Stanislav 643, 654  
Sobota Branislav 495, 527, 582  
Solus Dávid 78, 87, 178, 183  
Soták Matúš 459

Staš Ján 359, 576  
Steingartner William 319, 342  
Strnisko Peter 443, 446  
Studničková Henrieta 532  
Suchý Luboš 267  
Surma Juraj 263  
Šaliga Ján 275, 337, 619  
Šimoňák Slavomír 20, 26  
Šoltýs Peter 326  
Špes Michal 83, 143, 149, 154, 160,  
165  
Šulaj Peter 183

## **T**

Talian Peter 586  
Tarhaničová Michaela 624  
Tichý Miloš 78  
Tkáčová Lenka 287  
Tökölyová Katarína 87  
Tóth Matúš 359  
Trojčák Dominik 553

Turán Ján 62, 67, 78, 83, 87, 91, 95,  
99, 107, 110, 120, 126, 137, 178,  
183, 234, 240, 443, 446, 603

## **U**

Urban Milan 486

## **V**

Vadovský Michal 557, 563  
Vantová Zuzana 331  
Vasil Peter 553  
Vápeník Roman 223, 433, 449, 506,  
628  
Viszlay Peter 311, 537  
Vitališ Marián 619  
Vojtek Martin 681, 687

## **Z, Ž**

Zbojovský Ján 428  
Zelený Maroš 372  
Žvanda Peter 199

**Electrical Engineering and Informatics VIII**  
**Proceedings of the**  
**Faculty of Electrical Engineering and Informatics**  
**of the Technical University of Košice**

Published by: Faculty of Electrical Engineering and Informatics  
Technical University of Košice  
Edition I, 713 pages  
Number of CD Proceedings: 50 pieces

Editors: prof. Ing. Ján Šaliga, CSc.  
Ing. Emília Pietriková, PhD.

**ISBN 978-80-553-3192-8**