




TECHNICAL UNIVERSITY OF KOŠICE  
Faculty of Electrical Engineering and Informatics



# Electrical Engineering and Informatics X



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

**ISBN 978-80-553-3342-7**

**Electrical Engineering and Informatics X**  
**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: August 2019 Language: English, Slovak  
Printing: 50 pieces CD Pages: 544

Editorial board chairman: prof. Ing. Alena Pietriková, CSc.

Proceedings reviewers: prof. Ing. Pavol Galajda, PhD.  
prof. Ing. Dušan Levický, CSc.  
prof. Ing. Stanislav Marchevský, CSc.  
prof. Ing. Ján Paralič PhD.  
prof. Ing. Alena Pietriková, CSc.  
prof. RNDr. Ján Plavka, PhD.  
prof. Ing. Peter Sinčák CSc.  
prof. Ing. Ján Šaliga, CSc.  
prof. Ing. Iveta Zolotová CSc.  
assoc. prof. Ing. Norbert Ádám, PhD.  
assoc. prof. Ing. František Babič PhD.  
assoc. prof. Ing. Anton Baláž, PhD.  
assoc. prof. Ing. Marek Bundzel PhD.  
assoc. prof. Ing. Peter Butka PhD.  
assoc. prof. Ing. Ľubomír Doboš, PhD.  
assoc. prof. Ing. Miloš Drutarovský, PhD.  
assoc. prof. Ing. Jaroslav Džmura, PhD.  
assoc. prof. Ing. Ján Gamec, PhD.  
assoc. prof. Ing. Ján Genčí, PhD.  
assoc. prof. Ing. Zdeněk Havlice, CSc.  
assoc. prof. Ing. Milan Lacko, PhD.  
assoc. prof. Ing. Marián Mach CSc.  
assoc. prof. Ing. Alexander Mészáros, PhD.  
assoc. prof. Ing. Ján Papaj, PhD.  
assoc. prof. Ing. Branislav Sobota, PhD.  
assoc. prof. Ing. Slavomír Šimoňák, PhD.  
assoc. prof. Dr. Ing. Ján Vaščák  
assoc. prof. Ing. Jaroslava Žilková, PhD.

Editors: prof. Ing. Alena Pietriková, CSc.  
Ing. Emília Pietriková, PhD.



# Contents

|  |    |
|--|----|
| <b>Gabriela Demková, Kristína Machová</b><br><i>Detection of fake news in platforms of the social web</i> .....  | 8  |
| <b>Juraj Čarnogurský, Slavomír Šimoňák</b><br><i>Extension of the System for Visual Design and Analysis of Algorithms and its Application in Education</i> .....               | 13 |
| <b>Martin Fedor, Dušan Medved</b><br><i>Inteligentné meracie zariadenia a ich obmedzenia</i> .....   | 18 |
| <b>Daniel Pál, Ľubomír Beňa, Jakub Urbanský</b><br><i>Význam stmievania na zníženie energetickej náročnosti budovy</i> .....   | 23 |
| <b>Ján Magyar, Norbert Ferencík</b><br><i>Interactive Game Therapy Using a Nao Robot</i> .....   | 27 |
| <b>Ján Mihalík, Iveta Gladišová</b><br><i>Obrysovú deskriptory využívajúce waveletovú transformáciu</i> .....  | 31 |
| <b>Jakub Urbanský, Michal Špes, Daniel Pál, Ľubomír Beňa, Michal Márton</b><br><i>Simulation of Electricity Production from Small Wind Turbine in locality of Košice</i> ..... | 36 |
| <b>Tomáš Huszaník, Ján Turán, Ľuboš Ovseník</b><br><i>Vplyv konfigurácie čerpaceho zdroja EDFA na generovanie SPM vo WDM systémoch</i> .....                                   | 42 |
| <b>Martin Havrilla, Ján Gamec</b><br><i>Estimácia hrúbky steny pomocou UWB radarového systému</i> .....  | 48 |
| <b>Branislav Sobota, Štefan Korečko, Ľubomír Daniel Fedor, Marián Hudák, Martin Sivý</b><br><i>Využitie technológií zmiešanej reality v priemyselnom prostredí</i> .....       | 53 |
| <b>Slavomír Kardoš</b><br><i>Aplikácia low-g akcelerometra pre snímanie viskozity technických olejov</i> .....   | 59 |
| <b>Patrik Seman, Aleš Deák, František Jakab</b><br><i>Information automated portal for monitoring live records from a proxy server</i> .....                                   | 65 |
| <b>Stanislav Ondáš, Rastislav Husovský</b><br><i>SloGest – databáza na analýzu multimodality</i> .....   | 71 |
| <b>Eduard Pizur, Viera Maslej Krešňáková, Peter Butka</b><br><i>Detekcia spájania galaxií pomocou metód hlbokého učenia</i> .....  | 76 |
| <b>Patrik Kancír, Dušan Medved</b><br><i>Analýza energetickeho zabezpečenia pre kláštor Krásny Brod</i> .....  | 81 |
| <b>Marek Krištof, Dominik Lakatoš</b><br><i>System for monitoring the movement of athletes</i> .....   | 85 |
| <b>Daniel Chovanec, Lukáš Hruška, Peter Sinčák</b><br><i>User centered design in cloud-based teleoperation system for social robotics</i> .....                                | 91 |
| <b>Erika Buffová, Zdeněk Havlice</b><br><i>Engineering Processing of Requirements with Use of the OPM</i> .....  | 96 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Martin Bražina, William Steingartner</b><br><i>Semantics of programming languages in categorical terms</i> .....  | 102 |
| <b>Pavol Silagyi, Dušan Medveď</b><br><i>Analýza odstavenia jadrovej elektrárne A1</i> .....   | 107 |
| <b>Ján Papaj</b><br><i>Odolné mobilné siete na doručovanie obsahu – REMONET</i> .....  | 113 |
| <b>Matúš Mašlanka, Pavol Bobík, Ján Genči</b><br><i>Automatizácia spracovania dát zo siete AMONnet</i> .....   | 119 |
| <b>Marián Hudák, Branislav Sobota</b><br><i>Inteligentné používateľské rozhrania s posilnením interakcie človeka a systému virtuálnej jaskyne</i>  | 125 |
| <b>Lukáš Ujházy, Aleš Deák, František Jakab</b><br><i>Smart meter data processing tool using energy disaggregation</i> .....   | 131 |
| <b>Peter Girovský, Ján Kaňuch, Zoltán Gombos</b><br><i>Porovnanie vplyvu napájania na charakteristiky univerzálneho motora</i> .....   | 137 |
| <b>Dominik Gdovin, Dušan Medveď</b><br><i>Analýza elektromagnetického poľa v okolí vn stožiarov</i> .....  | 143 |
| <b>Tomáš Huszaník, Ján Turán, Luboš Ovseník</b><br><i>Analýza Er-Yb vlnovodného zosilňovača pre DWDM systém v pásme C</i> .....  | 148 |
| <b>Renát Haluška, Luboš Ovseník, Peter Šulaj</b><br><i>Effective Algorithms for Multiview Video Coding</i> .....   | 153 |
| <b>Barbora Novotná, Valerie Novitzká</b><br><i>Coalgebras for concurrent processes using <math>\pi</math> – calculus</i> .....   | 157 |
| <b>Michal Márton, Luboš Ovseník, Ján Turán, Michal Špes, Jakub Urbanský</b><br><i>Porovnanie špirálových antén pracujúcich na 2,4GHz, 5,2GHz a 9,2GHz pre experimentálny FSO/RF systém</i> .....                   | 162 |
| <b>Ján Presada, Dušan Medveď</b><br><i>Rozloženie elektromagnetického poľa v okolí transformátora</i> .....  | 165 |
| <b>Vladimír Hluška, Dušan Medveď</b><br><i>Elektromagnetické pole v okolí vybraných zariadení v domácnosti</i> .....   | 171 |
| <b>František Kovaľ, Pavol Bobík, Ján Genči, Michal Vrábek</b><br><i>Tsunami waves detection by Mini-EUSO detector</i> .....  | 176 |
| <b>Maksym Oliinyk, Jaroslav Džmura</b><br><i>Features investment in projects related to renewable energy</i> .....   | 182 |
| <b>Luboš Ovseník, Ján Turán, Jakub Oravec</b><br><i>Vývoj difúzneho bloku pre obrazové šifrovacie algoritmy</i> .....  | 186 |
| <b>Branislav Sobota, Patrik Žak</b><br><i>Distributed Visualization System</i> .....   | 192 |
| <b>Michal Márton, Luboš Ovseník, Ján Turán, Michal Špes, Jakub Urbanský</b><br><i>Analýza vplyvu zmeny reflektora špirálovej antény pracujúcej na 5,2GHz aplikovateľnej v experimentálnom FSO/RF systéme</i> ..... | 198 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Anna Biceková, Ľudmila Pusztová</b><br><i>Metódy analýzy transakčných dát</i> .....  | 202 |
| <b>Matej Matta, Zdeněk Havlice, Ľuboslav Jochman, Martin Jasenčák</b><br><i>Virtualization of information systems and treatment planning systems in radiation oncology</i> ...      | 208 |
| <b>Simona Gerbocová, František Babič</b><br><i>Inteligentné technológie na podporu navigácie vo vnútorných priestoroch</i> .....  | 214 |
| <b>Jaroslav Foltín, Ondrej Kainz, Miroslav Michalko, Rastislav Petija, František Jakab</b><br><i>Estimation of Human Body Dimensions from Image</i> .....                           | 220 |
| <b>Daniel Pál, Ľubomír Beňa, Jakub Urbanský</b><br><i>Možnosti znižovania strát v sieti</i> .....   | 226 |
| <b>Iveta Gladišová, Ján Mihalík</b><br><i>Vplyv parametrov trelirovej štruktúry na vektorové kvantovanie</i> .....  | 232 |
| <b>Filip Hendrichovsky, Fouzia Adjailia, Peter Sinčák</b><br><i>Human Facial Emotion Recognition for Human-Computer Interaction</i> .....   | 236 |
| <b>Branislav Sobota, Štefan Korečko, Peter Rusiňák</b><br><i>Smart Sensor Input Environment for Virtual-Reality Systems</i> .....   | 245 |
| <b>Peter Šulaj, Lukáš Demčák, Stanislav Marchevský, Renát Haluška</b><br><i>Programová implementácia pre ovládanie drona pomocou zariadení umožňujúcich virtuálnu realitu</i> ..... | 251 |
| <b>Maroš Plšík, Peter Bednár</b><br><i>Deep learning methods for image segmentation</i> .....   | 256 |
| <b>Peter Szakács, Michal Vrábel, Ján Genči</b><br><i>Classification of EUSO-SPB data using convolutional neural networks (CNNs)</i> .....   | 263 |
| <b>Ľudmila Pusztová, Jakub Ivan Vanko, Ján Paralič</b><br><i>Kardiovaskulárne ochorenia a ich predikcia</i> .....   | 269 |
| <b>Martin Gajdoščík, František Babič</b><br><i>Dátová Analytika v Hokeji</i> .....  | 276 |
| <b>Štefan Korečko, Tomáš Hrušč, Samuel Janotka</b><br><i>Platforma OR/TR2JC ako virtuálne prostredie pre validáciu bezpečnostno-kritického softvéru</i> ..                          | 281 |
| <b>Juliana Ivančáková, Peter Butka, Peter Bednár</b><br><i>Návrh sémantického modelu pre procesy dolovania v dátach</i> .....   | 286 |
| <b>Dominik Nezník, Ľubomír Doboš</b><br><i>Teória hier pre bezdrôtové siete</i> .....   | 291 |
| <b>Jakub Urbanský, Michal Špes, Daniel Pál, Ľubomír Beňa, Michal Márton</b><br><i>Computer Simulation Model of Three Stage Battery Charger</i> .....                                | 296 |
| <b>Ladislav Andrejko, Matúš Pleva</b><br><i>Implementácia Algoritmu Automatickej Identifikácie Rečníka v Matlabe</i> .....  | 299 |
| <b>Peter Girovský, Mikuláš Lunio</b><br><i>Riadenie mobilného robotického ramena</i> .....  | 304 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Nikola Móricaová, Ondrej Kainz, Miroslav Michalko, Rastislav Petija, František Jakab, Roman Vápeník</b><br><i>Innovative Solutions to Support the Teaching of Computer Networks</i> ..... | 311 |
| <b>Daniela Perduková, Pavol Fedor</b><br><i>Modelovanie nelineárnej dynamickej sústavy na báze fuzzy logiky</i> .....  | 317 |
| <b>Viera Maslej Krešňáková, Peter Butka</b><br><i>Použitie metód hlbokého učenia na analýzu dát v astrofyzike</i> .....  | 323 |
| <b>Maroš Lukáč, William Steingartner</b><br><i>An extension of denotational semantics for imperative languages</i> .....   | 330 |
| <b>Ján Vaščák</b><br><i>Využitie inteligentného priestoru pre vzdialene ovládanú robotiku</i> .....  | 338 |
| <b>Daniela Čurová, Ján Vaščák</b><br><i>Data Mining Techniques for Medical Data</i> .....  | 343 |
| <b>Ivan Vojtko, Ján Vaščák</b><br><i>Implementation of Sensory Systems for Needs of an Intelligent Space</i> .....   | 349 |
| <b>Tomáš Huszaník, Ján Turán, Luboš Ovseník</b><br><i>Realizácia DWDM systému pre potlačenie FWM</i> .....   | 355 |
| <b>Jozef Perháč, Zdeněk Havlice</b><br><i>Modelovanie a prototypovanie dátovej vrstvy softvérových systémov použitím metodológie OPM</i>   | 360 |
| <b>Miroslav Remák, Sergej Chodarev</b><br><i>Use of ANTLR4 for parsing in YAJCo</i> .....  | 366 |
| <b>Renát Haluška, Luboš Ovseník, Peter Šulaj, Milan Koščo</b><br><i>Simulation of Object Recognition by Unmanned Aerial Vehicles</i> .....   | 372 |
| <b>Ján Vaščák</b><br><i>Využitie rádiových BLE majákov pri určovaní polohy objektov</i> .....  | 376 |
| <b>Peter Čech, Alena Pietriková</b><br><i>Návrh a simulácia 2,45 GHz mikropásikových plátkových antén</i> .....  | 382 |
| <b>Dávid Tóth, Slavomír Šimoňák</b><br><i>Nástroj pre zisťovanie konfigurácie počítača</i> .....   | 388 |
| <b>Lukáš Dombrovský, Ján Vaščák</b><br><i>Cryptocurrency Analysis Using Intelligent Methods</i> .....  | 393 |
| <b>Peter Sučko, Marek Pavlík</b><br><i>Možnosti využitia obnoviteľných zdrojov energie v domácnostiach</i> .....   | 397 |
| <b>Daniel Gecášek, Pavol Bobík, Ján Genči</b><br><i>Framework for COR model for particles trajectory simulations in the Earth magnetosphere</i> ....   | 402 |
| <b>Daniel Kottner, Viera Maslej Krešňáková, Peter Butka</b><br><i>Analýza astronomických dát – detekcia lineárnych objektov v prehliadke oblohy</i> .....                                    | 408 |
| <b>Matúš Pleva, Yuan-Fu Liao, Daniel Hládek, Ján Staš, Martin Lojka</b><br><i>Automatické rozpoznávanie bilingválnej reči</i> .....  | 413 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Emanuell Tomiq, Marek Pavlík</b><br><i>Úspora elektrickej energie vo verejnom osvetlení pre triedy M1 až M6</i> .....                                    | 417 |
| <b>Marek Kunštár, Peter Bednár</b><br><i>PREDICTIVE MODELLING OF DATA FROM AIR TRAFFIC</i> .....  | 421 |
| <b>Dávid Hrabčák, Ľubomír Doboš</b><br><i>2-vrstvový model siete pre budúce 5G siete a IoT</i> .....  | 427 |
| <b>Tomáš Kudrík, Michal Vadovský, Ján Paralič</b><br><i>Data analytics in the neurological area</i> .....   | 433 |
| <b>Silvia Schmidtová, Ján Genči</b><br><i>The history of development of computer technology in Slovakia II</i> .....  | 439 |
| <b>Marek Ilko, Ondrej Kainz, Miroslav Michalko, Rastislav Petija, František Jakab</b><br><i>Educational Web Solution for Computer Networks course</i> ..... | 443 |
| <b>Ján Papaj, Alexandra Hornyáková</b><br><i>Výber vhodných prenosových uzlov v CR-MANET na báze teórie hier</i> .....                                      | 448 |
| <b>Peter Žvanda, Dušan Medveď</b><br><i>Analýza rozloženia elektromagnetického poľa vo vnútri elektrickej stanice</i> .....                                 | 454 |
| <b>Veronika Matejová, Dominik Lakatoš, Ján Podolinský</b><br><i>Indoor localization for visually impaired people</i> .....                                  | 460 |
| <b>Peter Saraka, Marek Pavlík</b><br><i>Porovnanie fotovoltických systémov z pohľadu výroby elektrickej energie</i> .....                                   | 466 |
| <b>Tomáš Kupec, Miroslav Michalko, Ondrej Kainz, František Jakab</b><br><i>Vyhodnocovanie nameraných údajov elektrokardiografie</i> .....                   | 471 |
| <b>Norbert Ferenčík, Ján Magyar</b><br><i>Number Recognition and Writing Using a Nao Robot</i> .....  | 477 |
| <b>Anna Biceková, Juliana Ivančáková, Lea Pisarčíková</b><br><i>Analýza makroekonomických dát krajín EÚ</i> .....   | 481 |
| <b>Branislav Bednár, Zuzana Bilanová</b><br><i>Sémantický stroj transparentnej intenzionálnej logiky</i> .....  | 487 |
| <b>Erik Dvorčák, Aleš Deák, František Jakab</b><br><i>Monitoring system of power plants</i> .....   | 493 |
| <b>Jozef Biroš, Marián Mach</b><br><i>Prírodné inšpirované algoritmy rodiny ABC a porovnanie ich konvergencie</i> .....                                     | 497 |
| <b>Máté Hireš, Monika Molnárová</b><br><i>Robustness of interval Monge matrices in binary fuzzy algebra</i> .....   | 502 |
| <b>Michal Ivančák, Juraj Kurimský</b><br><i>Microgrid model with electric car charging</i> .....  | 509 |
| <b>Martin Hasin, Miloš Drutarovský</b><br><i>Šifrované úložisko na báze YOCTO Linuxu a Raspberry Pi</i> .....   | 513 |
| <b>Lukáš Tokarčík, Slavomír Šimoňák</b><br><i>Systém pre analýzu algoritmov</i> .....   | 519 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Alžbeta Bačová, Anna Biceková, Ľudmila Pusztová</b><br><i>Analýza dát v bankovom sektore</i> .....                                     | 525 |
| <b>Zuzana Mihályiová, Ján Genči</b><br><i>Digitizing paper ECG records</i> .....  | 530 |
| <b>Matej Madeja, Lukáš Vida, Jaroslav Porubän</b><br><i>Comparison of usability testing by instructions and real-word scenarios</i> ..... | 535 |
| <b>Author's Index</b> .....   | 541 |

# Detection of fake news in platforms of the social web

<sup>1</sup>*Bc. Gabriela DEMKOVÁ, <sup>1</sup>doc. Ing. Kristína MACHOVÁ, PhD.*

<sup>1</sup> Department of Cybernetics and Artificial Intelligence, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>[gabriela.demkova@student.tuke.sk](mailto:gabriela.demkova@student.tuke.sk), <sup>1</sup>[kristina.machova@tuke.sk](mailto:kristina.machova@tuke.sk)

**Abstract** — Fake news has a significant impact on social life in recent years, especially in the political world. They are a serious problem that is aggravated by the rapid advancement of computer technologies that simplify the process of creating and disseminating them. Detection of fake news is becoming one of the most important areas of research, although it is easier to track the impact of fake news than to detect them. The aim of this paper is to introduce a suitable model for detecting fake news using machine learning algorithms. Using a confusion matrix that classifies the elements of a watched file, multiple indicators of binary classification were followed. Used methods were Decision Tree (DT), Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM) and Naïve Bayes (NB).

**Keywords** — fake news, machine learning algorithms, recognition of antisocial posts, CRISP-DM

## I. INTRODUCTION

In today's technology, nearly three and a half billion people have access to the Internet. At its birth, it was to serve the good, with the aim of spreading knowledge and education, first among academics and later among the general public. When the social networks began to emerge later, their goal was similar. Over time and with their rapid development, they have become not only a communication channel but also a means of sharing photos, videos, articles, opinions, even though a mobile phone. Many people do things in their lives just to share it on social networks. Unfortunately, this communication tool also has a dark side. It has become the home of fake news, gossip, or nonsense, which unfortunately users continue to share without validation. Every day, falsehood and deceit are spread through social networks for a variety of reasons, financial gain, gaining the favor of the greatest number of people. And we, the people, are just helping.

The main aim of this work is to find the most accurate machine learning algorithm that could detect this fake news. We used CRISP-DM (CRoss Industry Standard Process for Data Mining) methodology to solve the problem, which represents the data mining process. We had a dataset that contained the title of the post, the text of the post, and the marking of the posts that have been divided into false and true. The target and tracked attribute was the marking of the posts. The attributes of the title and text of the articles have been modified in the data preparation section by pre-processing the text, which is very important for text data. The main part was the modeling phase, which consists of two experiments that differed in input data. Input representation was in two forms, namely a document term matrix and a document term matrix with a TF-IDF (Term Frequency- Inverse Document Frequency) weighting. The input data was divided into a training and test set where Naive Bayes, Decision Tree, Random Forest and Support Vector Machine were applied to the training set. We have verified the created models on the test set, which we finally evaluated using several indicators of binary classification, precision, recall and F1 score.

## II. FAKE NEWS

Fake news is neologism, which is very often used to refer to a fictional message. This type of report consists of deliberate misinformation and fraud that is spread through traditional press and broadcast news media or online social media. The fictional information is distributed mainly by social media, but it is also regularly distributed through the media. Fake news is written and published in order to mislead and harm the reputation of a company, entity or person, and to profit from it either financially or politically. They use dishonest or totally fictional headlines in an effort to increase readability and their income from online sharing. Mysterious misleading and misleading fake news are different from the parody that is supposed to entertain rather than mislead your audience [1].



The effort to manipulate people's minds is not as old as humanity itself, but only a few generations share it. But mankind had to change its form according to what social establishment was in power. In ancient times, tribal leaders, princes, kings, and pharaohs were in power. If someone wanted to manipulate power, it was enough to influence those who were in power. With the arrival of the city states, it was necessary to get wider groups of people as senators or ambassadors. Rhetoric has been at the forefront, speaking art as well as delicate things and enthusiastic audiences. At the end of the Middle Ages, classical establishments gradually disappeared and replaced their constitutional monarchies, republics, and other forms of generalized people's administration. With the oncoming of democratic regimes, it was necessary to persuade the masses of the people about their truth, to which the instrument of mass communication benefited. Speeches were published in the form of books or daily newspapers. The problem at that time was that the reader had to buy a book or newspaper with lies. For manipulators, the hope of launching radio and television was born. Just like the print media, they allowed the information to be spread among the masses, but they no longer had to pay for the content, which meant that media manipulation became more sustainable. The reason why the influence of television and radio was so effective was the fact that there was not a channel alongside them that would allow smaller groups of people who know that the truth is not propagated to allow the rest of the population to show the truth. Mass manipulation began to fall slowly with the oncoming of the Internet. Suddenly it was very easy and quick to find out what was true and what was not. Thus, the manipulation had to take on a larger dimension [1].

Social networks provide the ideal environment for the fake news assumption. Anyone who forwards a fake news adds it to the force. If misleading information comes from multiple sources in a similar period, it is not difficult to believe that it is serious information. Most social network users give them a quick look. Time and space to confront the source of information is significantly low. This problem is exacerbated by the fact that a large number of users do not verify the truth of the information because the information is already enjoyed by thousands of users. Thus, the era of mass manipulation took on a new form. All you have to do is have a social network account to create a professional-looking post or article. Consequently, it is shared among its friends and it is enough to just wait for the deceptive message to spread quickly and for free [1].

### III. MACHINE LEARNING ALGORITHMS

Machine Learning is an area of artificial intelligence that deals with methods and algorithms that allow you to learn and then recognize complex patterns and make smart decisions based on the information they have learned. Machine learning algorithms are divided into three categories according to the way of learning and the problem solved [2]:

- Learning with a teacher - classification and regression
- Teaching without a teacher – clustering
- Learning with strength

To solve of the problem of the work, we were selected machine learning algorithms with a teacher, namely Naive Bayes, Decision Tree, Random Forest and Support Vector Machine. It is these methods that are best suited to solve the classification problem. We chose them for a number of reasons: they are the most reliable, most understandable, most used, and easy to implement [2].

#### A. *Naïve Bayes*

Naive Bayes is based on a statistical and probabilistic approach. It deals with the classification method and its principles are among the simplest and most comprehensible classifiers because it does not work with complex schemes and calculations. It is based on so-called. Bayes' theorem, which as well as the algorithm itself, was formulated by the English statistician, Thomas Bayes, the spiritual and philosopher, after which they are also named. It is named naive, because it assumes the independence of attributes, in our case, which is not fulfilled in real terms. The Naive Bayes algorithm is thus calculated using the Naive Bayesian classifier who could classify these data [2].

#### B. *Decision Tree*

Decision trees are one of the oldest and most widely used algorithms used for classification and prediction. They are transparent and easy to interpret, allowing users to quickly and easily evaluate their results. The goal of the decision trees is to predict the value of the target variable based on elements from the training set that are input data. Its structure is graphical in form of a tree, constructed from top to bottom, consisting of edges and nodes. Nodes are class or test attribute values. During the late 1970s and early 1980s, J. Ross Quinlan, a machine learning researcher, developed an ID3 (Iterative Dichotomiser) decision tree algorithm that utilizes the concept of information gain. An algorithm named C4.5 was created by improving and completing

the algorithm. It differs in the choice of attributes that, according to normalized information gain. In 1984, a group of statisticians, L. Breiman, J. Friedman, R. Olshen, and C. Stone, published a book, *Classification and Regression Trees*, in which they described the generation of binary decision trees named CART [2].

### C. *Random Forest*

Random Forest algorithm can be used for both classification and regression. The principle of their operation lies in the generation of a large number of decision trees, each decorrelated with each other, and the subsequent grouping of their results. Thus, they are considered to be the superstructure of decision trees and eliminate a number of shortcomings, such as their instability. Furthermore, very large decision trees that do not trim by working perfectly on the training set, but fail on the test set. This problem is also solved by a random forest. The algorithm consists of several CART decision trees, where only a random subset of attributes is available that is independent of their number. The random forest depends on the strength of the individual classifiers and the degree of dependence between them [2].

### D. *Support Vector Machine*

Support Vector Machines is a classification and regression analysis algorithm. It can work with data that is both linear and nonlinear. The aim of the algorithm is to find so-called. a hyperline that divides two classes and determines which points belong to which class. The optimal hyperplane is one that is spaced as far as possible from the endpoints called support vectors. To put it simply, the hyperplane around itself creates the largest possible point-free zone, with the marginal points of the divided areas equidistant from the center of the hyperline. An important part of the support vector technique is the kernel transformation of the symptom space to give a space typically of a higher dimension. This transformation allows us to convert the initially linear non-separable task into a linearly separable task, to which we can then apply an optimization algorithm to find the dividing hyperplane. The scalar product of transformed data is used to calculate the hyperplane [2].

## IV. RELATED WORKS

There are some approaches to fake news detection focused on a dictionary approach. These approaches focus on fake news from four perspectives [3]:

- the false knowledge it carries,
- its writing style,
- its propagation patterns,
- and the credibility of its creators and spreaders.

The approaches provided an analysis of news and its spreaders, various strategies and frameworks that were adaptable, and techniques that were applicable.

In the last years, great attention was devoted to fake news. For example, work [4] presents results of fake news detection, where the best results were achieved using lexicon approach in combination with a syntax analysis and POS. The best achieved results of this approach is Accuracy = 0.83. On the other hand, work [5] achieved much more weak results (Accuracy = 0.594) using the same approach – lexicon in combination with syntax analysis. There is also another similar work [6] with similar approach and the best achieved results of Accuracy = 0.760.

We can see, that the texicon based approach can achieve results vary depending on the quality of lexicon and its relevance to domain of processing posts. It is the reason, we have focused on machine learning methods.

## V. DATA

### A. *Data description*

To solve this work, we have chosen a dataset that is freely available at <https://www.kaggle.com/>. Dataset, *Fake News detection*, contains 4009 records and 4 attributes. The message tag is specified using the *Label* attribute, which takes two values, 0 - indicates fake news, and 1 - indicates true messages. The attribute represents the target attribute. The proportion of false and true messages is 51.31% to 46.69%. It also contains attributes: *URLs*, which indicates the location of the message on the Internet, the *Headline* and *Body*. This dataset contains news about the new USA President Donald Trump.

### B. *Data preparation*

Data preparation is one of the most challenging phases of the process, as the quality of input data affects the quality of output models and thus the quality of results achieved. Followed by a description of data preprocessing:

- *Removing unsuitable symbols.* As we examine the datasets more closely, we found symbols that had to be removed and replaced by their empty space. The data contained „â€™, â€“, which we removed.
- *Creating a source vector.* We created a source vector, referred to as a corpus, into which we inserted a text attribute with which we were able to execute the text processing. The text attribute was converted to a vector.
- *Conversion to lowercase.* Lettering is needed when working with text, so all characters have been changed to lowercase.
- *Delete punctuation.* In general, punctuation does not add any value to text analysis using classification models. For this reason, punctuation from data sets needs to be deleted.
- *Remove stopwords.* The next stage of text data preprocessing is to remove "stopwords". These are words that are not meaningful, which are commonly used in sentences when they are linked, and their information value when analyzing text is zero. Members, prepositions, clutches and some pronouns are considered as so-called. stopwords. It is possible to create a custom list of these words that we want to remove from the data set. However, typical words of a particular language are used to solve real tasks.

**Remove unnecessary gaps.** The preprocessing that we have done so far has left us with a number of spaces in the document that have not been deleted along with the words that have been deleted by the above pre-processing. Often these gaps are considered word, so you need to delete these white spots.

**Document term matrix.** The document term matrix (DTM) is the most common way of representing text for further processing. In our case, we export pre-processed data to the form of "Bag of words". This model does not take into account the order of the words in the document. The matrix describes the frequency of words that occur in the document file. Matrix lines represent selected terms and columns of individual documents [7].

**Document term matrix with weighting.** Another matrix with we used is the document term matrix TF-IDF. Nowadays, the most popular today is weighting scheme TF-IDF, term frequency - inverse document frequency, the aim of which is to express the importance of a word for a document in a corpus. It increases proportionally with the number of words found in the document but is offset by its frequency in the overall collection of documents. The metric does not take into account the position or context of the word [7].

## VI. EXPERIMENTS

In experiment 1. we worked with the attribute *Headline*, that the title of the post gives us. The attribute contains a relatively smaller amount of words than the attribute *Body* with which we will work in experiment 2. Input representation is in the form of a document term matrix (DTM) and a document term matrix (DTM) with a TF-IDF weighting. We applied the Naive Bayes (NB), Decision Tree (DT), Random Forest (RF) and Support Vector Machines (SVM) algorithms to the inputs. The monitored indicators were return precision, recall and F1 score. In the table below, the indicators are shown numerically.

Table 1  
 Experiment 1. – monitoring precision, recall and F1 score

| Attribute<br>Headline | DTM          |              |              | DTM with a TF-IDF weighting |              |              |
|-----------------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------|--------------|--------------|
|                       | Recall       | Precision    | F1 score     | Recall                      | Precision    | F1 score     |
| NB                    | <b>0.792</b> | <b>0.829</b> | <b>0.810</b> | <b>0.820</b>                | <b>0.826</b> | <b>0.823</b> |
| DT                    | 1.00         | 0.543        | 0.704        | 0.200                       | 0.898        | 0.327        |
| RF                    | 0.830        | 0.734        | 0.779        | 0.710                       | 0.827        | 0.764        |
| SVM                   | 0.718        | 0.814        | 0.763        | 0.766                       | 0.802        | 0.783        |

The best results in experiment 1. were achieved by Naive Bayes. F1 score expresses the balance between precision and sensitivity. The value is close to 1, which points to the fact of ideal accuracy and sensitivity.

Experiment 2. works with the attribute *Body*, that the text of the post gives us. The attribute contains a larger number of words than the attribute *Headline* with which we will work in experiment 1. Input representation is in the form of a document term matrix (DTM) and a document term matrix (DTM) with a TF-IDF weighting. We applied the Naive Bayes (NB), Decision Tree (DT), Random Forest (RF) and Support Vector Machines (SVM) algorithms to the

inputs. The monitored indicators were return precision, recall and F1 score. In the table below, the indicators are shown numerically.

Table 2  
Experiment 2. – monitoring precision, recall and F1 score

| Attribute Body | DTM          |              |              | DTM with a TF-IDF weighting |              |              |
|----------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------|--------------|--------------|
|                | Recall       | Precision    | F1 score     | Recall                      | Precision    | F1 score     |
| NB             | 0.910        | 0.818        | 0.862        | 0.880                       | 0.936        | 0.907        |
| DT             | 0.938        | 0.854        | 0.894        | 0.920                       | 0.902        | 0.911        |
| RF             | <b>0.964</b> | <b>0.995</b> | <b>0.979</b> | <b>0.972</b>                | <b>0.995</b> | <b>0.983</b> |
| SVM            | 0.570        | 0.938        | 0.709        | 0.916                       | 0.978        | 0.946        |

The best results in experiment 2. were achieved by Random Forest. F1 score expresses the balance between precision and sensitivity. The value is close to 1, which points to the fact of ideal accuracy and sensitivity.

## VII. CONCLUSION

Finally, we summarize the experiments and describe the evaluations that the experiments gave us. Experiments show us that input data representation is very important, as in most cases models that worked with the document term matrix with a TF-IDF weighting achieve better results. In our case, the Naive Bayes model appeared to be the best for a smaller data input sample. On the other hand, the Random Forest model appeared to be the best with a larger data input sample. We believe that this work has produced results that can be further worked on and developed, as the subject of fake news is increasingly being addressed worldwide. Unfortunately, at the time of the Internet, modern problems are coming to the fore and we should not close our eyes. On the contrary, these issues should be discussed, their dangers highlighted, and they can be resolved by finding and detecting them.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The work presented in this paper was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract No. APVV-017-0267 “Automated Recognition of Antisocial Behaviour in Online Communities”.

## REFERENCES

- [1] F. Vitek, Fake news – kde to začalo a kam spejeme (Blog style), published.
- [2] J. Han, M. Kamber, *Data Mining: Concepts and Techniques*. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2003.
- [3] X. Zhou, R. Zafarani, Fake News: A Survey of Research, Detection Methods, and Opportunities. ACM, pp.1-40, 2018.
- [4] L. Li, B. Qin, W. Ren, and T. Liu, Document representation and feature combination for deceptive spam review detection. *Neurocomputing* 254, 33–41, 2017.
- [5] M. Abouelenien, V. Pérez-Rosas, B. Zhao, R. Mihalcea, and M. Burzo, Gender-based multimodal deception detection. ACM, Proceedings of the Symposium on Applied Computing, 137–144, 2017.
- [6] Ch. Braud and A. Sogaard, Is writing style predictive of scientific fraud? arXiv preprint arXiv:1707.04095, 2017.
- [7] J. Paralič, K. Furdík, G. Tutoky, P. Bednár, M. Sarmovský, P. Butka, F. Babič, *Dolovanie znalostí z textov*. Košice: Equilibria, 2010.

# Extension of the System for Visual Design and Analysis of Algorithms and its Application in Education

<sup>1</sup>Juraj ČARNOGURSKÝ, <sup>2</sup>Slavomír ŠIMOŇÁK

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

<sup>1</sup>juraj.carnogursky@student.tuke.sk, <sup>2</sup>slavomir.simonak@tuke.sk

**Abstract** – This paper can serve as an extract or a brief preview of a system whose primary purpose is to improve the educational processes in the field of informatics and computer science. The main focus of the system is to extend the old version of a system, prepare it for real-world use cases and proceed with its application as a part of specific lectures and courses. Within the paper, the focus is being placed mainly on achievements and practical evaluation of the mentioned system.

**Keywords** – Alogirthisation, educational processes, visualisation

## I. INTRODUCTION

With the increasing number of computer science newcomers and labor demand in the area of informatics, the method to provide knowledge efficiently is becoming a crucial requirement. The essential building blocks of this knowledge are universities. With that in mind, the paper is proposing a solution along with thoughts and conclusions that were obtained during its construction. A system Flower (*put together from three words Flow, chart and maker*) for visualization of algorithms was initially introduced within a thesis [1] at Technical University of Košice.

## II. VISUALISING THE ALGORITHM

A visual workflow of creating algorithms have found its use in practical applications. On the other hand, there is enormous potential in the process of education. The difference in the amount of time spent seeing visual examples in contrast with the time spent reading a textbook cannot be a subject of any doubts. The problem with this approach is that it takes more time to prepare and have to be optimized to perfection once being used in practice to serve its purpose.

## III. THE FLOWER SYSTEM

The paper is describing a path to a production-ready system that can be used in practice for educational purposes. The system was already implemented as a proof-of-concept (PoC), but the technology used for its first version was not capable of serving production needs.

### *Technology*

The first version of Flower [2] was written for the web platform using a JavaScript library *JQuery*. For the second version, to which this paper refers to, the chosen platform was again web but this time with a more up-to-date technology stack including *ReactJS*, *Redux*, *Firestore* and many more. Thanks to these technologies the application is put into a better spot from perspective of performance, usability, and extendability.

### *Reiterating the core*

As a part of the implementation of the second version in oppose to the first, a core structure of Flower was slightly modified. Initially, the core elements of the algorithm were blocks (elementary units of code - commands, simple or more complex conditionals) interconnected with connections. The new approach to designing an algorithm was no longer within the boundaries of existing connections in which the blocks were being put in but rather placing the blocks on a blank screen and interconnecting them via user's interaction.

#### IV. INTERFACE FOR LANGUAGE DEFINITION

The new implementation came with many different aspects of extending the system in further development. In the old version of the system, there was only one particular language in which algorithms could be described. It was a sort of *JavaScript* language hybrid combined with a few *Pascal* language syntactical constructions. The only way to extend the old system was to write new libraries in the mentioned language. It was mainly designed to suit the purpose of stimulating algorithmic thinking of individuals during a process of education. Alongside methods of solving a problem, the system was calculating the complexity of the particular solution and presenting the behavior of structures like call stack or local scope variables.

However, there are plenty of topics that can be considered a point of interest for educational purposes in computer science or software engineering areas other than understanding a process of algorithmic constructions (algorithmization). That was the main reason behind the implementation of an interface providing more flexibility for extensions suited to educational needs.

Before the concrete implementation, a conceptual preparation was made in which any programming language was provided with an interface to communicate with and to be built upon. As was later shown a small abstraction and generalization was needed to adjust this concept of interface not only for programming languages but any formal system [3]. As proof of this generalization, a formal system called Petri nets [4] was added as a plugin into the application. The system consisted of two phases - *Design time* and *Run time*.

##### A. Design time phase

Design time is initial and then repeatedly recurring phase during which user interaction is led to a program definition. Language definition is supposed to provide essential building blocks of an algorithm for this phase with necessary attributes describing a shape, behavior and optionally reactions to multiple events invoked by the system.

Syntax definition of the language is active during this phase. It includes tokenization which is responsible for the transformation of text input from the user into a valuable data structure (*Token*) for later execution as well as correction checks alternatively error raising based on whether the provided input is incorrect.

##### B. Run time phase

Once the user decides to execute the designed algorithm, an abstract machine defined by the language gets initialized. After that, a step by step process of execution begins. Abstract machines exist within the system for primary programming languages, but there might be a need for a custom implementation of the machine to suit a specialized formal system needs.

In principle, every abstract machine holds a semantic definition for a given language. It is being called in an execution cycle and receives a *Token* data structure parsed during syntactic analysis.

Following illustrations provide a list of abstract machines within the system as well as their internal structure:

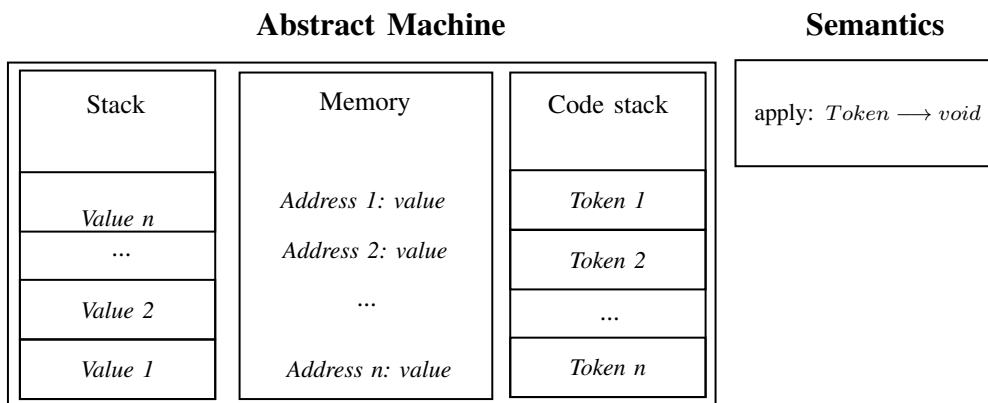


Fig. 1: AbstractMachine class structure

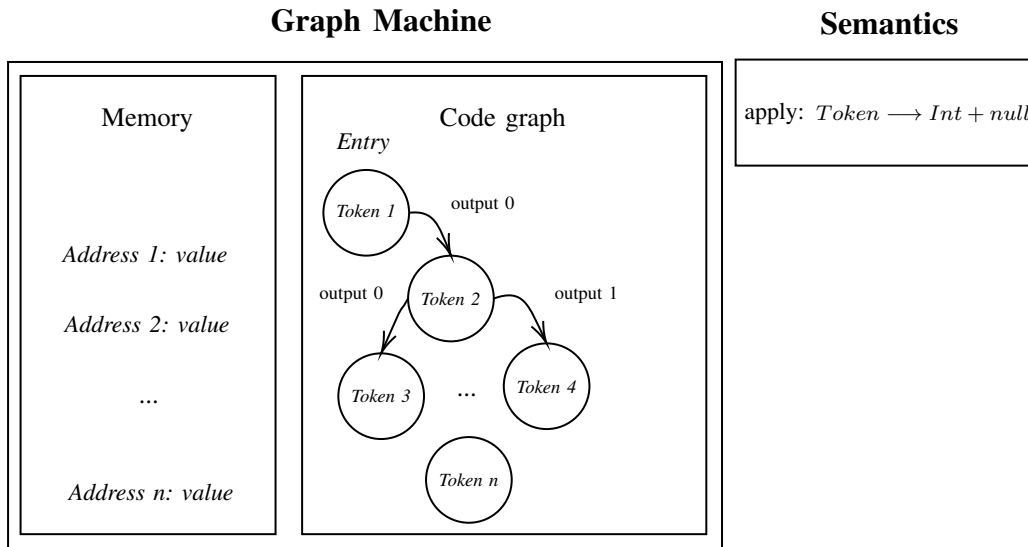


Fig. 2: GraphMachine class structure

These or their extending should suit a fundamental purpose of executing any Turing-complete programming language in the most straightforward manner possible. However, for exceptional cases of formal systems, there might rise a requirement for a custom solution. For example, during the Petri nets system implementation, a custom execution strategy was added to a system as a plugin.

#### Currently supported languages

At the moment this paper is being written, system Flower contains definitions of languages for RAM abstract machine [5], assembler for processor Intel 8080 [6] and already mentioned Petri nets.

### V. EVALUATION OF THE SYSTEM

Final results of whether the system is ready for use in the educational processes were to be questioned in a real course with students. It was conducted at the Technical University of Košice during a course dedicated to Assemblers for various processors.

There were two series with a swapped sample of students who have been first introduced into the system and presented with a task to solve in that system. After solving the task using the Assembly 8080 implementation of a language they were asked to fill a questionnaire in which they would describe their opinions with regards to the previously obtained experience of the system Flower. The total number of students that have participated in this user testing was 23.

The questionnaire consisted of questions divided into sections about designing an algorithm and executing the algorithm. Questions were focused primarily on the quality of knowledge acquired during the usage of the system. They also included the main topics that concern the most of applications in the state of transition to production use like usability, simplicity, or correctness. In the end, the questionnaire asked students to provide their opinion in comparison with which are according to their own experience being used tools and systems in the educational process.

The last question was more general than the others, and it was requesting the students to share their feelings about using the system Flower in production during their future studies. Statistical illustration of answers to this particular question is shown on a pie chart in Fig. 3. More details regarding the questions and their evaluation can be found in the thesis [1].



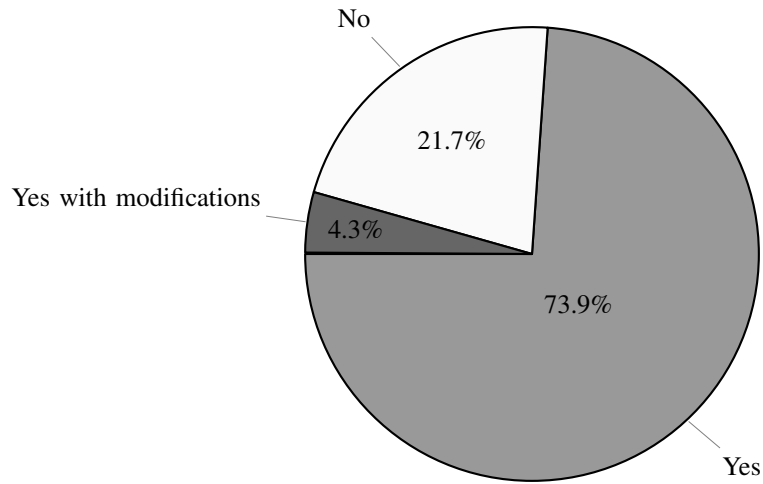


Fig. 3: Question: Can you imagine the system Flower being used during your subsequent studies at the university? (23 answers)

### VI. A BRIEF SHOWCASE OF THE SYSTEM

After the application is loaded, a user can choose one of the supported languages (Fig. 4).

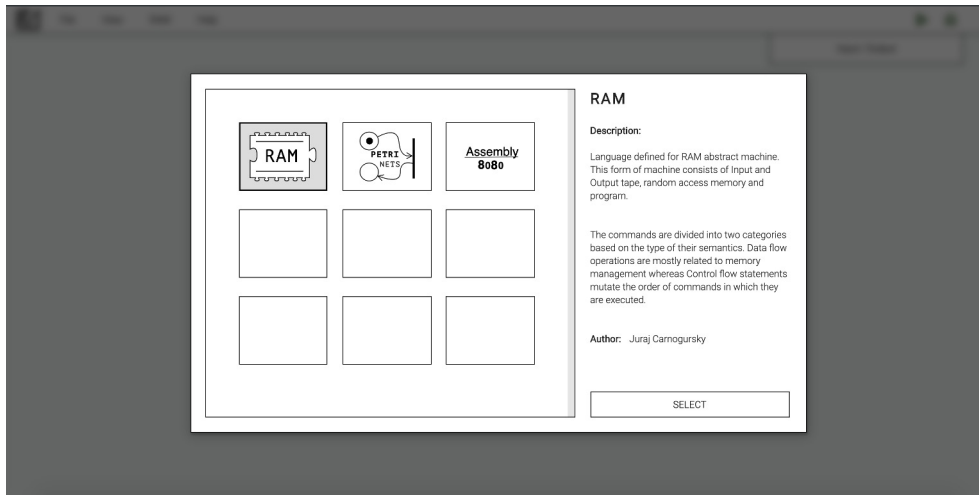


Fig. 4: Initial Screen: Choosing a language

An example of algorithm execution (GCD) by the Flower system is given in Fig. 5.

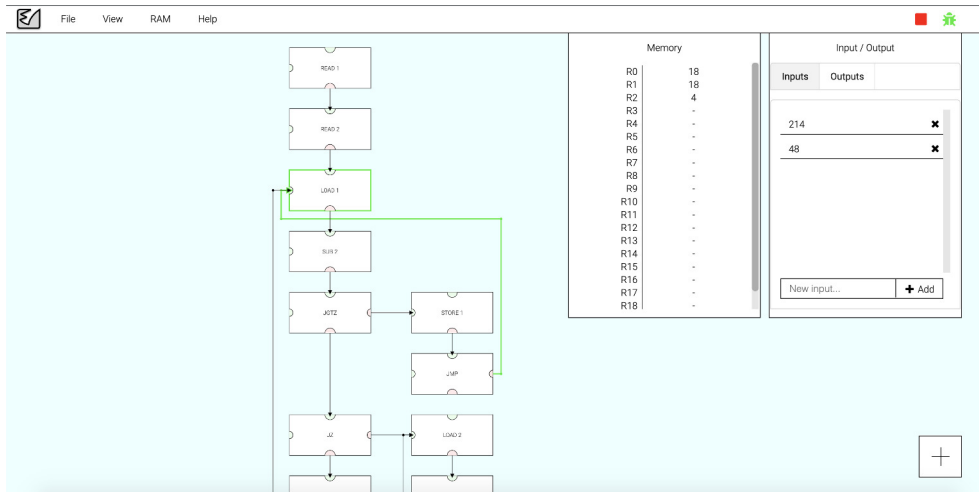


Fig. 5: Executing Algorithm: Running a GCD algorithm (Greatest common denominator)

For faster evaluation of RAM programs, also a complexity diagram can be displayed (Fig. 6).



Fig. 6: RAM Language Complexity:  $n^2$  Algorithm Complexity Chart

## VII. CONCLUSION

Essential elements of further development in the system are going to be focused on extending the system in its natural form provided by the interface for new language and formal systems definitions. There are also possibilities in the optimization of performance, user experience, and defect corrections are needed as well. By now as was partially proven by the user testing in practice the system provides a way to more effortless knowledge transfer and hopefully will find its use in several subjects of computer science studies.

## REFERENCES

- [1] J. Čarnogurský, "Extension of the System for Visual Design and Analysis of Algorithms and its Application in Education," 2019, master's thesis.
- [2] —, "System for Visual Design and Analysis of Algorithms," 2017, bachelor's thesis.
- [3] P. Linz, *An Introduction to formal languages and automata*. Jones & Bartlett Learning, 2012.
- [4] C. A. Petri and W. Reisig, "Petri net," *Scholarpedia*, vol. 3, no. 4, p. 6477, 2008, revision #91647.
- [5] H. Goldstine and J. Neumann, "Planning and coding of problems for an electronic computing instrument," *Princeton: Institute for Advanced Study*, 1947.
- [6] Intel, *intel 8080 Assembly Language Programming Manual*, 1975. [Online]. Available: <http://altairclone.com/downloads/manuals/8080%20Programmers%20Manual.pdf>

# Inteligentné meracie zariadenia a ich obmedzenia

<sup>1</sup>Martin FEDOR, <sup>2</sup>Dušan MEDVEĎ

<sup>1,2</sup> Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>martin.fedor.5@student.tuke.sk, <sup>2</sup>dusan.medved@tuke.sk

**Abstrakt** — Článok sa zaoberá inteligentnými meracími prístrojmi a ich obmedzeniami pri použití v praxi pri meraní v rodinných domoch. Inteligentné meracie prístroje sú súčasťou inteligentných meracích systémov, ktoré napomáhajú pri šetrení jednotlivých druhov energií. Z tohto šetrenia majú ťažiť elektrárne, ktoré si sľubujú pomalšie zvyšovanie výroby elektrickej energie vďaka jej efektívnejšiemu využívaniu. Okrem elektrární, zo zavedenia inteligentných meracích systémov majú ťažiť aj koncoví užívatelia, ktorí si sľubujú zníženie spotreby a tým aj úsporu financií. Zavedením inteligentných meracích systémov sa tiež nezaťažuje životné prostredie.

**Kľúčové slová** — inteligentný merací prístroj, inteligentný merací systém, energia

## I. MERANIE A MERACIE PRÍSTROJE

Meranie zaraďujeme medzi vedecké disciplíny. Vedeckú disciplínu zaoberajúcu sa meraním nazývame metrológia. Metrológia je nielen vedou, ale aj súhrnom poznatkov o meraní. Metrológia nám hovorí o tom že určenie správneho spôsobu merania je rovnako dôležité ako spracovanie vyhodnotenia merania, chyby vzniknuté pri meraní a správny výber meracích prostriedkov. Meraním získavame kvantitatívne parametre meranej veličiny alebo vzťah medzi viacerými veličinami. Na meraní sa podieľa merací reťazec, meraný objekt a operátor. Za merací reťazec považujeme súbor technických prostriedkov určených nielen na meranie ale aj na vyhodnotenie merania. Merací reťazec je zložený zo štyroch častí a to [1]:

1. *snímač*, ktorý sa musí vhodne vybrať na základe meranej veličiny a jej vlastností;
2. *prevádzací člen* – hlavnou úlohou prevádzacieho člena je prevedenie hodnoty z meracieho člena na vlastný výstupný signál;
3. *vyhodnocovacie zariadenie*;
4. *pomocné a doplnkové zariadenia* – vyberajú sa na základe potrieb meracieho reťazca, patria tu najmä zdroje, prepínače a iné.

Merací prístroj, ktorým môže byť aj snímač, je v podstate zariadenie, ktoré na základe vonkajších podnetov pomocou signálov reaguje na zmenu týchto podnetov. Základnou časťou a funkčným prvkom meracích prístrojov je senzor. Senzor je citlivá časť meracieho prístroja, ktorá je v priamom styku s meraným prostredím, čo z neho tvorí vstupný blok meracieho reťazca. [2]

## II. ČASTI MERACIEHO PRÍSTROJA

### A. Merací systém

Tvorí ho pevná a pohyblivá časť. Merací systém pre svoju činnosť využíva silové pôsobenie elektrických veličín. Veličina, ktorú meriame, vytvára moment. Tento moment otáča pohyblivou časťou meracieho prístroja, o ktorú je upevnený ukazovateľ. Pre každý systém sa moment počíta inak a závisí od meranej veličiny. Direktívne pružiny vytvárajú riadiaci moment. Tento moment pôsobí proti momentu systému. Direktívne pružiny zabezpečujú nulovú polohu ukazovateľa v prípade, ak sa hodnota meranej veličiny rovná nule. Direktívne pružiny môžu slúžiť aj na privedenie prúdu do otočnej časti meracieho systému. Ak sú veľkosti momentu systému a riadiaceho momentu rovnako veľké, ručička ukazovateľa sa vychýli úmerne veľkosti meranej veličiny. Meracie systémy v závislosti od princípu funkčnosti delíme na: vibračné, tepelné, feromagnetické, ferodynamické a magnetoelektrické.

### B. Zobrazovacie zariadenie

Je určené na umožnenie odčítavania nameraných hodnôt a tým určiť ich veľkosť. Skladá sa z ukazovateľa a číselníka. Ukazovateľ má za úlohu vykresliť polohu ručičky. Číselník je usporiadaný súbor čísel a značiek. Je na ňom vykreslená stupnica a značka, udávajúca druh meracieho prístroja, merací systém a vnútorný odpor tohto prístroja. [3]

## III. INTELIGENTNÉ MERACIE PRÍSTROJE

### A. Inteligentný merací systém

Inteligentný merací systém je súbor zariadení určených na meranie, spracovanie, prenos, diaľkový zber nameraných dát o výrobe alebo spotrebe tej-ktorej energie. Tieto údaje sú poskytované ďalším účastníkom trhu. V podstate sa jedná o elektronický systém schopný pridať viac informácií k nameranej spotrebe energie ako obyčajné konvenčné meradlo. Tieto informácie väčšinou pochádzajú z merania výkonových kvalitatívnych parametrov energie. Inteligentné meracie prístroje sú schopné elektronickej komunikácie za účelom odosielania alebo prijímania nameraných dát. [4]

### B. Technické parametre inteligentných meracích systémov

**Základná funkcionálna** – inteligentný merací systém musí byť schopný obojsmerne komunikovať s odberným miestom koncového odberateľa elektriny a centrálou inteligentného meracieho systému. Prenášané údaje musia byť zabezpečené (šifrované). Komunikácia prebieha cez zabezpečené sériové rozhranie, WIFI, bluetooth, impulzné pripojenie alebo cez iný otvorený protokol. V základnom intervale 15 minút prebieha priebehové meranie odberu a dodávky elektrickej energie. Pre diaľkový odpočet a spotrebovanej energie a pre spracovanie nameraných údajov platí základný interval minimálne raz mesačne. Inteligentný merací systém automaticky a pravidelne synchronizuje dátum a čas. Merací prístroj musí registrovať udalosti počas neštandardných alebo poruchových stavov, tie následne zasiela do centrály inteligentného meracieho systému. Systém umožňuje diaľkovú aktualizáciu a parametrizáciu programu meracieho prístroja a ďalších technických prostriedkov bez ovplyvnenia meracieho systému.

**Pokročilá funkcionálna** – principiálne sa jedná o základnú funkcionálnu obohatenú o nasledujúce parametre. Vykonáva sa priebehové štvorkvadrantové meranie dodávky a odberu činnej a jalovej zložky elektrickej energie a zároveň sa vyhodnocuje účinník v časovom intervale 15 minút. Pri diaľkovom odpočte a spracovaní dát je základný časový interval 24 hodín. Povelom z centrály je možné diaľkovo pripojiť alebo odpojiť odberné miesto v prípade, ak to umožňuje zapojenie do distribučnej sústavy. Je možné určiť prúdové a výkonové obmedzenie v danom meracom prístroji. Meracie prístroje merajú jednotlivu v každej fáze efektívne hodnoty napätia a prúdu. Komunikačný prístroj je možné vymeniť bez zásahu do meracej časti obvodu prístroja. Merací prístroj registruje alarmy o napadnutí prístroja.

**Špeciálna funkcionálna** – je to pokročilá funkcionálna obohatená o nasledujúce funkcie. Meracie prístroje merajú aritmetický zdanlivý výkon  $S$  a správny zdanlivý výkon  $S_r$ . Správny zdanlivý výkon pozostáva z činnej zložky  $P$ , jalovej zložky  $Q$ , deformačného výkonu  $D$ , výkonu nesymetrie  $A$  a nesymetrického deformačného výkonu  $B$ .

$$S_r^2 = P^2 + Q^2 + D^2 + A^2 + B^2$$

Výkon nesymetrie  $A$  vyjadruje rozdiely pomerov výkonov vo fázach. Dané rozdiely porovnáva zvlášť po jednotlivých harmonických. Nesymetrický deformačný výkon  $B$  vyjadruje rozdiely v harmonických prúdu a napätia v rôznych fázach. [5]

### C. Obmedzenia inteligentných meracích systémov

**Napájanie** – poznáme prístroje, ktoré pre svoju činnosť potrebujú napájanie z vonku a prístroje, ktoré pre svoju činnosť napájanie nepotrebujú. Takýto druh meracích prístrojov pracuje na princípe vzniku mechanického momentu. Prístroj z meraného objektu získa potrebnú energiu na vytvorenie výchylky. Výhodou tohto princípu fungovania meracích prístrojov je, že nepotrebujú prídavný zdroj. Nevýhodou pri týchto meracích prístrojoch je nižšia presnosť, ktorá vzniká hlavne v dolnej hranici stupnice ukazovateľa a väčšie zaťažovanie meracieho prístroja. Meracie prístroje pracujúce na tomto princípe sú konštrukčne jednoduché so spoľahlivou prevádzkou. Napájanie meracích prístrojov, ktoré pre svoju činnosť potrebujú externý zdroj, riešime napájaním zo siete alebo napájaním akumulátorov alebo batériou.

**Zber dát** – prehľad o súčasnej a o celkovej bilancii spotreby energií nám napomáha k zefektívňovaniu využívania energie a tým nepriamym spôsobom aj k šetreniu energie. To radí zber dát k neodmysliteľnej súčasť inteligentných meracích systémov. K zberu dát používame

softvéry alebo jednotlivé prístroje na to určené, tzv. zberače dát. Zberače nám umožňujú jednoduchý prístup k nameraným a spracovaným dátam. Spracovanie nameraných dát môže byť uskutočnené a vizualizované do grafickej alebo tabuľkovej formy. Pri zbieraní dát je dôležité, aby bol zberač schopný komunikovať s každým meracím prístrojom v inteligentnej meracej sieti, keďže tie môžu komunikovať rôznymi spôsobmi. Ak zberač dát nedokáže komunikovať s meracím prístrojom používame tzv. prevodníky. Prevodník je zariadenie, ktoré slúži na prevod signálu z typu A na typ B, pričom nezmení prenášanú informáciu. Obmedzením pri prenose dát je veľkosť úložiska daného zberača dát, frekvencia vzorkovania a veľkosť prenášaných údajov.

**Prenos dát** – nevyhnutná súčasť inteligentného meracieho systému pre jeho správne fungovanie. Centrálna riadiaca jednotka má permanentný prísun aktuálnych dát o meranom prostredí. Na základe týchto dát vyhodnocuje ďalšie kroky. Rozhodnutie centrály musí byť včas dopravené do správneho miesta riadiaceho deja meracieho systému. Riadiaci systém vstupnými obvody prijíma informácie o meranom objekte a výsledok riadenia riadenému deju odovzdáva výstupnými obvody. Prenos informácií zabezpečuje súbor technických prostriedkov, ktoré nazývame rozhranie. Prenos informácií medzi zdrojom a príjemcom prebieha pomocou súboru definovaných pravidiel pre komunikáciu – *komunikačný protokol*. Rovnaké pravidlá o prenose a o formáte prenášaných údajov platia ako pre zdroj, tak aj pre príjemcu. K prenosu využívame *prenosový kanál* – súbor programových a technických prostriedkov zložený z dátovej a riadiacej časti. Pre prenos informácií v praxi používame dvojlinku, krútenú dvojlinku, koaxiálny kábel, optické vlákna, infračervené zariadenia, rádiový prenos, družicový prenos alebo klasický bezdrôtový prenos. [6]

#### IV. NÁVRH INTELIGENTNÉHO MERACIEHO SYSTÉMU

Pre návrh inteligentného rodinného systému sme vytvorili situáciu inteligentného rodinného domu, v ktorom sa budú merať základné inžinierske siete. V dome sa bude merať spotreba plynu, vody a elektrickej energie. Okrem merania energií sa v dome nachádza aj meranie teploty v štyroch miestnostiach s ovládaním kúrenia, meranie intenzity osvetlenia, taktiež v štyroch miestnostiach a snímanie pohybu v okolí domu.

Pre uľahčenie výberu vhodných meracích prístrojov sme si vytvorili databázu meracích prístrojov a program pre výber meracích prístrojov z tejto databázy. Program vyberie vhodný merací prístroj na základe vstupných parametrov zadaných užívateľom. Pred vytvorením programu sme vzali do úvahy jeho dostupnosť pre užívateľov, ako aj jednoduchosť obsluhy. Preto sme ho vytvorili v programe Microsoft Excel 2010.

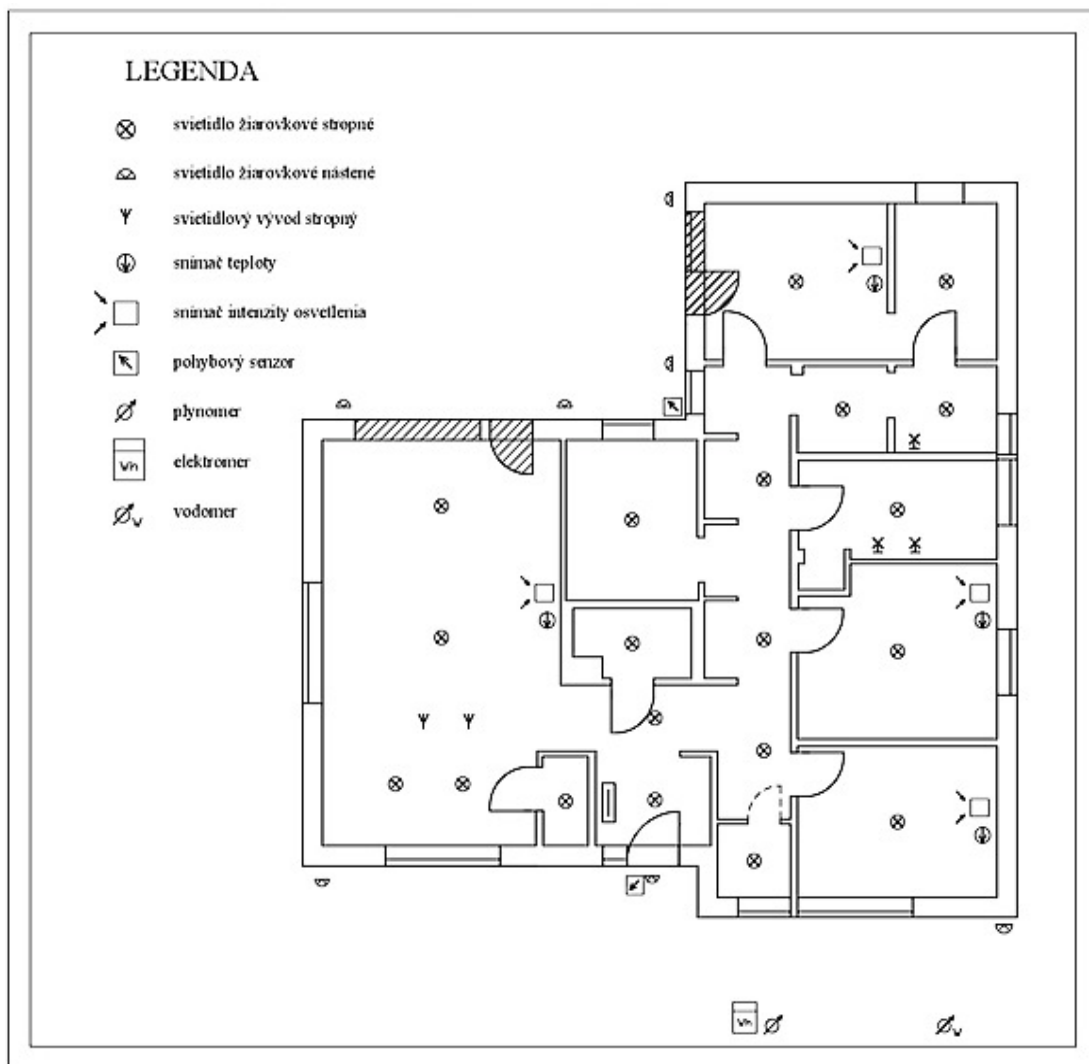
#### V. RIEŠENIE INTELIGENTNÉHO MERACIEHO SYSTÉMU

Najprv sme si zakreslili schému elektroinštalácie s požadovaným umiestnením meracích prístrojov. Potom sme postúpili k výberu samotných meracích prístrojov na základe veličín merania a potrebného napájania. Po zadaní vstupných parametrov, program vyhodnotil a stanovil vhodné meracie prístroje pre nami požadovanú situáciu.

| VYBRANÉ PRÍSTROJE     |           |  |    |   |     |
|-----------------------|-----------|--|----|---|-----|
| <input type="radio"/> | BK G 2.5  | Odčítanie dát z číselníku prístroja  | 53 | 1 | 53  |
| <input type="radio"/> | LE-01d    | Fakturačný elektromer. Ukladanie dát - nutnosť použiť zberač dát do vzdialenosti | 23 | 1 | 23  |
| <input type="radio"/> | LIC-1     | Regulátor inštalovaný na DIN lištu + externý senzor. Sčítavacia záťaž do 300W.   | 66 | 4 | 264 |
| <input type="radio"/> | DR-04W    | Napájanie: 230V, Časovač: 10s-15min. Intenzita: 3-2000Lux. Spínanie do 1200W.    | 13 | 2 | 26  |
| <input type="radio"/> | TFA 30    | Napájanie: základná jednotka 4x1,5V AAA + 3x snímače 2x1,5V AAA.                 | 57 | 1 | 57  |
| <input type="radio"/> | IARF/OARF | Fakturačný vdomer bez možnosti diaľkového odčítania dát.                         | 76 | 1 | 76  |

**CELKOVÁ CENA**  
499€

Obr. 1 Pohľad na jedno z okien programu „Výber meracích prístrojov“



Obr.2 Schéma elektroinštalácie

#### A. Meranie plynu

Program pre meranie plynu zvolil prístroj BK G 2,5 s maximálnym prietokom 4 m<sup>3</sup>/hod. s pracovným pretlakom 50 kPa. Jedná sa o membránový plynomer určený na meranie pretečeného objemu plynu a prietoku plynu. Je vhodný na meranie pre domy a byty. Dáta sa z prístroja odčítavajú na číselníku prístroja, pričom prístroj nedisponuje možnosťou ukladania dát.

#### B. Meranie vody

Pre toto meranie program vyhodnotil ako najlepší možný merací prístroj IARF/OARF. Je to vodomer pre vodorovnú montáž. Základnými vlastnosťami vodomera sú dlhá životnosť, vysoká spoľahlivosť a stabilita metrologických parametrov. Dáta sa aj v tomto prípade odčítavajú z číselníku prístroja. Rovnako ako v predchádzajúcom prípade, tento merací prístroj nie je schopný namerané dáta ukladať.

#### C. Meranie elektrickej energie

V tomto prípade program zvolil za vhodný jednofázový fakturačný, kalibrovaný elektromer LE-01d. Tento elektromer je inštalovaný priamo v systéme. Nameraná hodnota na energetickom vstupe sa prevedie na LCD displej. Prístroj pracuje pri referenčnom napätí 230 V a frekvencii 50 Hz. Menovitý prúd prístroja je 45 A. Pri tomto meraní je možné ukladanie dát, pričom je potrebné zabezpečiť zberač dát, ktorý sa pripojí na svorky S0. Pri použití zberača je potrebné dodržanie maximálnej vzdialenosti týchto prístrojov, čo je 20 m, z dôvodu skreslenia prenosu informácií.

#### D. Ovládanie vykurovania

Ako bolo uvedené v návrhu inteligentného meracieho systému, teplota má byť ovládaná v štyroch izbách. Tu program zvolil merací prístroj TFA 30 pozostávajúci z bezdrôtového teplomera a vlhkomera a troch transmitterov. Tieto snímače medzi sebou dokážu komunikovať až do vzdialenosti 100 m, čo je postačujúce pre náš prípad. Napájanie je riešené batériami 1,5 V

AAA. Základná jednotka potrebuje pre napájanie 4 kusy takýchto batérií, zatiaľ čo jednotlivé transmittersy potrebujú len 2 kusy.

#### E. Ovládanie svetiel pohybovými senzormi

Zo schémy elektroinštalácie je zrejmé, že chceme ovládať svietidlá pri vstupe do domu a svietidlá nachádzajúce sa na terase. Pre tento prípad boli zvolené dva pohybové senzory DR-04W. Jedná sa o PIR senzory so spínacím výkonom 1200 W pre žiarivky, 300 W pre výbojky, 600 W pre halogénové lampy, 150 W pre LED svietidlá a žiarivky. Spínanie prístroja je možné nastaviť na intenzitu v rozsahu 3 – 2000 Luxov s časovačom od 10 sekúnd do 15 minút.

#### F. Ovládanie intenzity osvetlenia

Tak ako ovládanie kúrenia, tak aj ovládanie intenzity osvetlenia, prebieha v štyroch izbách. Program zvolil prístroj LIC-1 určený na ovládanie intenzity ako v interiéri, tak aj v exteriéri. Prístroj pozostáva z dvoch častí. Regulátor je určený pre montáž na DIN lištu, zatiaľ čo externý senzor sa montuje priamo do priestoru, v ktorom chceme merať intenzitu osvetlenia. Pre každú izbu je potrebné použiť jeden externý senzor a jeden regulátor. Prístroj pracuje v piatich režimoch: vypnutý, automatická regulácia, maximálna úroveň osvetlenia, nastavenie minimálneho jasú osvetlenia a nastavenie požadovanej hodnoty osvetlenia. Regulátor pracuje s napájacím napätím 230 V.

## VI. ZÁVER

Výroba elektrickej energie je ekologicky náročná. Vzhľadom na stúpajúcu energetickú náročnosť vydala Európska únia, s cieľom modernizácie energetických systémov, v roku 2009 smernicu EPaR č. 2009/72/EÚ o spoločných pravidlách pre vnútorný trh s elektrickou energiou. Táto smernica zaväzuje členské štáty k zefektívneniu využívania elektrickej energie použitím inteligentných meracích systémov.

Zavádzanie inteligentných meracích systémov v domácnostiach môže byť finančne náročné. V našom uvedenom návrhu sa cena len za meracie prístroje vyšplhala na hodnotu 499 €, no návratnosť použitých finančných prostriedkov, pri správnom využití inteligentného systému, môže byť pomerne rýchla. Inteligentné meracie systémy nám v konečnom dôsledku nešetria len financie, ale dokážu nám výrazne spríjemniť pohodlie v domácnosti.

## POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR a SAV podporenej grantom VEGA 1/0372/18 a tiež 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.

## LITERATÚRA

- [1] Fedor, M., „*Inteligentné meracie zariadenia a ich obmedzenia*“, Bakalárska práca. Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2019.
- [2] Katedra leteckej technickej prípravy, „*Snímače a snímanie*“, Technická univerzita Košice, 2009. [online]. [cit. 2018-10-22]. Dostupné na internete: <<http://www.senzorika.leteckafakulta.sk/?q=node/8>>.
- [3] Elektrotechnická fakulta, „*Fyzika a Elektrotechnika v laboratórnych podmienkach*“, Žilinská univerzita v Žiline, [online]. [cit. 2018-10-25]. Dostupné na internete: <[https://fyzika.uniza.sk/praktika/Ucebница/HTML/3\\_Data/7\\_MMS.pdf](https://fyzika.uniza.sk/praktika/Ucebница/HTML/3_Data/7_MMS.pdf)>.
- [4] Ministerstvo hospodárstva SR, „*Návrh riešenia zavádzania inteligentných meracích systémov v elektroenergetike SR*“, 2013. [online]. [cit. 2018-11-15]. Dostupné na internete: <[https://www.atpjournal.sk/rubriky/prehľadove-clanky/navrh-riesenia-zavadzania-inteligentnych-meracich-systemov-v-elektroenergetike-sr.html?page\\_id=1801](https://www.atpjournal.sk/rubriky/prehľadove-clanky/navrh-riesenia-zavadzania-inteligentnych-meracich-systemov-v-elektroenergetike-sr.html?page_id=1801)>.
- [5] Zbierka zákonov č.358/2013, *Postup a podmienky zavádzania a prevádzky inteligentných meracích systémov v elektroenergetike*.
- [6] Priemyselná informatika, „*Prenos dát*“, SPŠ Levice, [online]. [cit. 2018-12-13]. Dostupné na internete: <[http://www.spslevice.sk/ucebnice/SOC/SOC%20-%20PRI/116-Prenos\\_dat.htm](http://www.spslevice.sk/ucebnice/SOC/SOC%20-%20PRI/116-Prenos_dat.htm)>.



# Význam stmievania na zníženie energetickej náročnosti budovy

<sup>1</sup>Daniel PÁL, <sup>2</sup>Lubomír BEŇA, <sup>3</sup>Jakub URBANSKÝ

<sup>1,2,3</sup> Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>daniel.pal@tuke.sk, <sup>2</sup>lubomir.bena@tuke.sk, <sup>3</sup>jakub.urbansky@tuke.sk

**Abstrakt** — Článok sa zaoberá témou osvetľovacích systémov v priestoroch školskej triedy. Dôraz je kladený na to, ako je možné pomocou snímača denného osvetlenia a stmievača znížiť energetickú náročnosť umelého osvetlenia. Úlohou skúmaného snímača je sledovanie množstva denného svetla v konkrétnom bode. Údaje získané spomínaným snímačom sú nevyhnutné na určovanie toho, na akom percentuálnom výkone by mali svietiť jednotlivé svietidlá na dosiahnutie dostatočnej intenzity osvetlenia v školskej triede. Pri navrhovaní osvetlenia miestnosti bol použitý program DIALux. Je potrebné upozorniť čitateľa na to, že výsledky publikované v článku sú len teoretické, preto môže byť mierny rozdiel medzi dátami vystupujúcimi v článku a reálne nameranými údajmi. Dôvodom takýchto rozdielov môže byť fakt, že podmienky navrhované v programe nemusia zodpovedať úplne reálnym podmienkam. Návrh v DIALuxe slúži iba na zistenie toho, aká úspora by vznikla v miestnosti pri použití stmievačov.

**Kľúčové slová** — DIALux, regulácia, stmievač, zníženie energetickej náročnosti

## I. ÚVOD

Osvetľovacie systémy tvoria v súčasnej dobe podstatnú časť spotreby elektrickej energie. Na znížovanie energetickej náročnosti osvetľovacích sústav sú rôzne spôsoby, ako napríklad stmievanie alebo používanie prítomnostných a pohybových senzorov.

Stmievanie je typ regulácie, pri ktorom je možné regulovať svetelný tok upravením príkonu svetelných zdrojov alebo svietidiel. Pomocou stmievania a regulácie je možné prispôbiť osvetľovaciu sústavu k rôznym požiadavkám, ako sú napríklad zmena denného svetla v miestnosti, zmena pracovných činností v miestnosti, zmena obsadenosti miestnosti a podobne.

Pri téme regulácie je potrebné spomenúť aj prítomnostné a pohybové senzory. Sú to zariadenia, slúžiace na sledovanie prítomnosti alebo pohybu človeka. Najčastejším miestom na inštaláciu pohybových senzorov sú chodby. Veľkou výhodou senzorov je fakt, že po inštalácii už nie je potrebné manuálne zapínanie a vypínanie svietidiel. Senzor sa automaticky zapne, ak zistí pohyb a po určitom čase po skončení pohybu sa vypne. Tým pádom je možné predísť tomu, aby svietidlá boli zapnuté na dlhšie obdobie. Vďaka tomu je možné ušetriť elektrickú energiu.

Cieľom tohto článku je upozorniť na to, že pomocou regulácie svetelných zdrojov, hlavne použitím jednoduchého stmievača je možné usporiť finančné zdroje, ktoré je možné neskôr využiť na iné účely.

## II. TYPY OSVETLENIA

Osvetlenie je možné všeobecne rozdeliť na 3 typy:

- denné,
- umelé,
- združené.

### A. Denné osvetlenie

Denné osvetlenie je osvetlenie, ktoré prichádza priamo zo Slnka. Má veľký vplyv na zdravé fungovanie ľudského organizmu, má psychologické aj fyziologické účinky. Denné osvetlenie reguluje ľudský biorytmus, zlepšuje imúnny systém organizmu ale podporuje aj činnosť vnútorných orgánov. Nedostatok denného osvetlenia môže byť zdrojom zrakovej únavy a ťažkostí s ňou spojených. Okrem toho, že ovplyvňuje zdravie ľudí, má vplyv aj na hospodárenie, lebo pomocou nej je možné usporiť nemalé množstvo peňažných zdrojov, ako na

to poukážeme v ďalšej časti tejto práce.

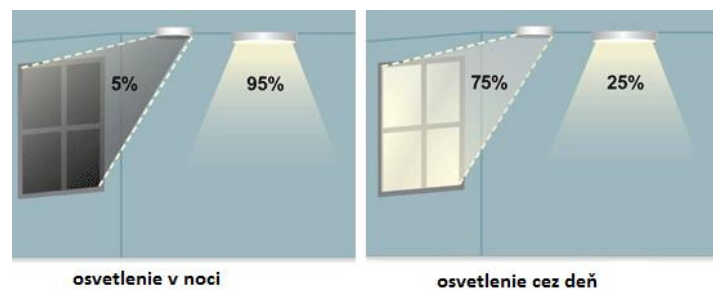
Hodnota intenzity denného osvetlenia sa mení v priebehu dňa. Najväčšia hodnota je dosiahnutá okolo poludnia, najnižšia zase v noci, kedy denné osvetlenie fakticky chýba. Okrem toho závisí aj od poveternostných podmienok, ako je napríklad zamračené oblohy. V neposlednom rade závisí aj od ročného obdobia ako aj od našej polohy na Zemi v súvislosti od zemepisnej šírky [1].

### B. Umelé osvetlenie

Umelé osvetlenie je taký typ osvetlenia, pri ktorom je umelým zdrojom nahradené denné osvetlenie. Dôvodom použitia týchto zdrojov je fakt, že ľudia podstatnú časť svojho života trávajú v škole, v práci, jednoducho v budovách. Ďalším dôvodom je to, že niektorí ľudia vykonávajú svoju činnosť v nočných hodinách, kedy Slnko nesvieti, ale umelé osvetlenie je potrebné aj vtedy, ak sa do miestnosti nemôže dostať denné osvetlenie [1].

### C. Združené osvetlenie

Modelovanie združeného osvetlenia je zložité z dôvodu, že treba brať do úvahy okrem denného osvetlenia aj umelé osvetlenie, keďže je to ich kombinácia. Treba taktiež kalkulovať s výhodami aj nevýhodami oboch typov týchto osvetlení. Denné svetlo nie je v každom prípade dostačujúce na osvetlenie miestností, lebo jeho hodnota sa mení počas dňa. Aby na pracovnom stole bola vždy konštantná hodnota intenzity osvetlenia, je potrebné, aby denné osvetlenie bolo doplnené umelými osvetleniami. Najlepšie výsledky je možné dosiahnuť vtedy, ak umelé osvetlenie je regulované na základe toho, aké množstvo denného svetla prichádza do miestnosti a koľko svetla je potrebné v miestnosti. Združené osvetlenie je možné vidieť na Obr. 1, kde umelé osvetlenie je regulované podľa intenzity denného osvetlenia [1]. Je možné pozorovať jednoduchý fakt, že v noci denné osvetlenie fakticky chýba. Svetidlá majú svietiť skoro na 100 % výkone, kým cez deň stačí aj 25 percentný výkon týchto svetidiel. Samozrejme, hodnota denného osvetlenia sa mení postupne v priebehu celého dňa a výkon svetidla je potrebné prispôbiť k tomuto javu. Obr. 1 slúži teda predovšetkým na to, aby čitateľ pochopil základy fungovania združeného osvetlenia ako aj fungovanie stmievača.



Obr. 1 Združené osvetlenie [2]

## III. MODELOVACÍ PROGRAM

Na modelovanie miestnosti bol použitý program DIALux. Pomocou softvéru bolo možné navrhnuť, vizualizovať a vypočítať rozloženie intenzity osvetlenia v miestnosti. Program je bezplatný aj napriek tomu, že jeho využitie je naozaj všestranné [3]. Program sa neustále vyvíja, vždy sú k dispozícii nové aktualizácie, ktoré je možné stiahnuť bezplatne, čo je veľkou výhodou tohto programu.

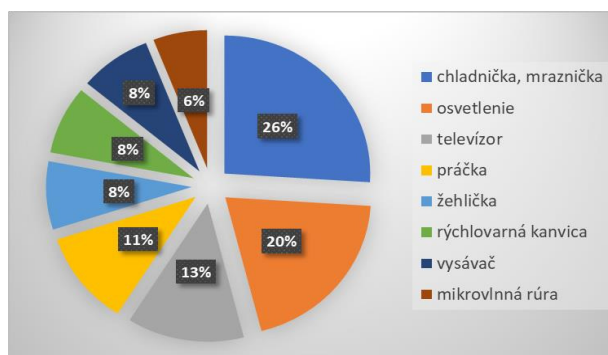
Prvým krokom pri použití programu je namodelovanie skúmanej miestnosti. Na dosiahnutie autentických a reálnych výsledkov je potrebné zariadenie miestnosti potrebným nábytkom. Je potrebné, aby pri návrhu projektu bola venovaná pozornosť aj na najmenšie detaily, lebo len v tomto prípade je možné zabezpečiť to, aby výsledky, ktoré sú v programe namodelované zodpovedali skutočným výsledkom. Namodelovanú miestnosť znázorňuje Obr. 2.



Obr. 2 Miestnosť v 3D formáte

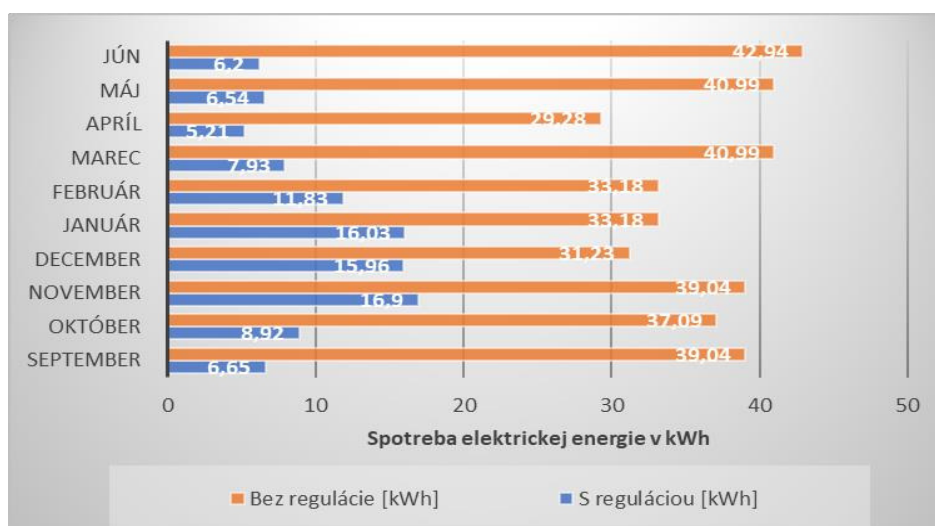
#### IV. VÝZNAM STMIEVANIA NA SPOTREBU ELEKTRICKEJ ENERGIE

Pri porovnaní elektrospotrebičov na spotrebu elektriny v domácnosti, najväčší podiel majú chladničky a mrazničky, ale hneď po týchto spotrebičov nasledujú rôzne typy osvetlenia. Podiel ostatných elektrospotrebičov na spotrebe elektrickej energie je možné vidieť na Obr. 3.



Obr. 3 Ročná spotreba elektrospotrebičov v domácnosti [4][5]

V DIALuxe bola namodelovaná situácia, kedy všetky svietidlá svietili na 100 % výkone, teda kedy bolo používané len umelé osvetlenie. V návrhu sa predpokladalo, že každý deň sa používajú svietidlá približne 8 hodín denne počas školského roka. V ďalších simuláciách bolo potrebné nasimulovať denné osvetlenie, aby následne bolo možné vypočítať ich kombináciu, čiže združené osvetlenie. Na Obr. 4 je znázornený rozdiel medzi spotrebou elektrickej energie bez regulácie a s reguláciou. Z grafu vyplýva, že hodnota úspory sa mení v priebehu roka. Nie je v každom mesiaci rovnaké, lebo hodnota denného osvetlenia sa mení v priebehu dňa ako aj roka. Ďalším dôvodom je aj to, že počas školského roka sú aj sviatky, prázdniny, ktoré tiež ovplyvňujú situáciu ohľadom osvetlenia. Jeden takýto príklad možno vidieť v decembri, kedy počas Vianoc a nového roka sú dlhšie prázdniny, kedy nie je potrebné využitie umelého osvetlenia. V tomto čase však úspora nie je až taká výrazná, ako napr. v júni, kedy je intenzita denného svetla oveľa vyššia.



Obr. 4 Porovnanie spotreby elektrickej energie bez a s reguláciou

Bez regulácie osvetlenia spotreba elektrickej energie podľa programu DIALux by bola 366 kWh ročne, ale pri predpoklade použitia stmievača sa spotreba znížila na 100 kWh ročne. Hodnota úspory by teda mohla dosiahnuť až 266 kWh. Pri cene elektrickej energie 0,10 €/kWh to znamenalo 27 € úspory, pri cene elektrickej energie 0,15 €/kWh už by znamenalo 40 €. Hodnota finančnej úspory nie je až taká výrazná, ale je potrebné podotknúť, že sa skúmala iba jedna miestnosť. V domácnostiach, v školách a iných budovách je viac miestností, tým pádom by sa jednotlivé úspory sčítali. Je potrebné upozorniť aj na to, že všetky tieto úspory sú iba teoretické a boli vypočítané pomocou softvéru DIALux. Simulácie sú dôležité preto, aby sa zbytočne nemíňali peniaze na investíciu, ktorá by mohla byť aj stratová. Investícia do stmievača by v niektorých prípadoch mohla byť vyššia ako uspokojené množstvo peňazí. V reálnych podmienkach do miestností by bolo potrebné inštalovať stmievač, ktorý by sa sledovalo denné osvetlenie a na základe týchto údajov by sa upravoval percentuálny výkon svietidiel, aby v miestnosti vždy bola konštantná hodnota intenzity osvetlenia. Jeden takýto konkrétny stmievač od výrobcu PHILIPS je možné vidieť na Obr. 5. Cena jedného stmievača je cca 20 € [6], takže za menej ako 1 rok by sa takáto investícia vrátila.



Obr. 5 Stmievač PHILIPS LRL1220 [6]

## V. ZÁVER

Tento príspevok sa zaoberal reguláciou osvetlenia. Uvažovalo sa najmä so združeným osvetlením, ktoré bolo navrhované v programe DIALux, aby bolo možné zistiť, aká úspora by vznikla pomocou využitia stmievača v reálnych podmienkach. Informácie o úspore energie sú len teoretické, lebo boli vypočítané pomocou programu. V programe boli stabilne zadané podmienky, ako stav oblohy, resp. čistota miestnosti, ktoré sa potom nezmenili. V reálnych podmienkach skoro vždy sa mení hodnota denného osvetlenia a tým pádom mení aj hodnota toho, na akom výkone majú svietiť svietidlá, keďže nasimulovať meniace sa podmienky je veľmi ťažké. Zistili sme, že pomocou stmievača v reálnych podmienkach by mohli vzniknúť úspory.

## POĎAKOVANIE

Túto prácu podporila Vedecká grantová agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied grantom VEGA č. 1/0372/18.

## LITERATÚRA

- [1] PÁL, Daniel: Návrh rekonštrukcie osvetlenia školských priestorov. Diplomová práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2018.
- [2] How Does Daylight Harvesting Work [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné na internete: <https://www.digikey.sg/en/product-highlight/a/ams/sensor-driven-lighting>
- [3] DIALux. [online]. Dostupné na internete: <https://www.dial.de/en/home/>
- [4] Najväčší požíratelia energií a peňazí v našich domácnostiach [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné na internete: <http://krotiteliaenergii.sk/najvacsi-pozieraci-energii-penazi-nasich-domacnostiach/>
- [5] Spotreba energie v domácnostiach [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné na internete: <http://www.uspornaziarovka.sk/pages/Spotreba-Energie-v-dom%C3%A1cnostiach.html>
- [6] Philips LRL 1220 TL5 [online]. [cit. 2019-05-06]. Dostupné na internete: <http://www.dg-lichtshop.de/PH-67010230-ENG>

# Interactive Game Therapy Using a Nao Robot

*Ján MAGYAR, Norbert FERENČÍK*

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

jan.magyar@tuke.sk, norbert.ferencik@tuke.sk

**Abstract** – In this paper we present a robotic system with the humanoid robot Nao applicable in cognitive stimulation therapy games for autistic, paraplegic, or lying patients. Bedridden patients often lack the motivation to perform exercises given to them by staff members to stimulate their brains. Such activities often involve robot interaction or computer game play. In this paper, we describe four interactive games, which are led by a robot. During play, an analysis of the player’s emotion takes place, and the gathered data can be beneficial to care staff members.

**Keywords** – Nao robot, emotions, therapy, games

## I. INTRODUCTION

A social robot is an autonomous agent that can communicate with people at an emotional level and also monitor patterns of social behavior. It has different “states of mind” and adapts to what it learns through its interactions. Social robots usually have a human (humanoid) or animal (zoomorphic) appearance. Social robots constitute a growing portion of the commercial area, and they are being used in the world of care. The robot can take care of the elderly, encourage its owner to keep moving, or visit his friends. With this approach, it can create a good cycle of healthy behavior. Examples of social robots:

- Aibo – an autonomous robot in the form of a domestic dog,
- Pleo – robotic dinosaur,
- Paro – robotic seal,
- Nao – humanoid robot (See Fig. 1),
- Kismet – robot for detection and expression of emotions.

Social robots are also used to treat autistic patients. Studies from multiple parts of the world emphasize the use of physical therapists for treating autism and controlling the symptoms. Research has revealed that kids showed remarkable improvement in their conversational skill while interacting with robots, as compared to sessions with human therapists. Parents also reported that children exposed to robot therapy showed greater result and improvement at home [1].

In this paper, we present a robotic system that can be used in cognitive stimulation therapy through playing simple games with a robot. The system uses the humanoid robot Nao, and four games were implemented for it. The rest of the paper is structured as follows: Section II lists a number of research papers connected to the aims of this paper, Section III describes our robotic system, Section IV presents some of the results of initial tests carried out with the system. Section V concludes the paper.

## II. RELATED WORK

In [2] Williams *et al.* found that children aged 4 to 10 perceive robot toys as trusted and were easily affected by the robot. The research monitored the degree of disobedience of children during their interaction with a robot, a speaking doll. The results showed that the robot can influence children’s opinion and behavior. Finally, the paper discussed the implications of this work for the future development of robots in interacting with children.

In [3] interaction between humans and the robot AIBO was investigated. The test was performed on 48 people with different personality traits (introvert or extrovert). The goal of the interaction was for the individual to correctly recognize the behavior of the robot. The research found that humans were more interested in interacting with a robot that displayed signs and behavior connected to the natural opposite to the human’s personality traits.

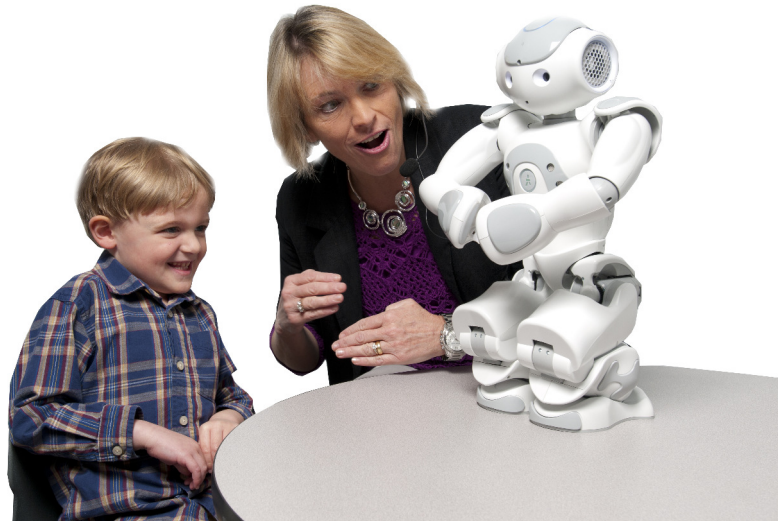


Fig. 1 Therapy with the humanoid robot Nao

In [4] the authors aimed to improve the health status of people with autism through their interaction with a robot. In this study, a Nao robot was used that communicated with subjects. The response of these people was recorded by the robot, and analysis of the data indicated an improvement of the subjects' quality of response. The paper supported the notion that robots can effectively be used to teach autistic people independence.

### III. OUR SYSTEM

Nao is a twin-round robot by Aldebaran Robotics with 23 degrees of freedom. Robot movement is provided by the motors located in the individual joints of the robot (shoulders, elbows, wrists, hips, knees, and feet). Nao is further equipped with several types of sensors, these include:

- ultrasonic sensor (x2) – located in the chest and measuring the distance from an obstacle,
- camera – located in the head, captures photos and videos of the robot's environment,
- buffers(x8) – records the contact of the robot parts with the environment,
- power sensors (FSR [5]) (x8) – located on the heel of the robot, measures the forces acting on the individual heel parts,
- inertial sensors – gyroscope and accelerometer [6] – used to measure the forces acting on the robot while moving.

To observe and analyze the human player's reaction to the interaction with the robot we used facial emotion recognition through the Microsoft Face API cloud service [7]. The input to this service is a picture of the player's face and the output is a JSON [8] containing the face position and the probability value for eight types of emotions: anger, contempt, disgust, fear, happiness, neutral, sadness, and surprise.

We have implemented four interactive games in the system for initial testing. All games are led by the robot, and during play the emotions of the human participant are observed, analyzed, and visualized in a graph. The player can select the game to be played by saying the number 1 - 4. After each game, the program returns to the menu where the player can select the game. The following subsections describe the four games implemented in the system.

#### A. *Guess the number*

The principle of this game is for the human to guess the number between 0 and 10 the robot thinks of. The player starts the game by choosing a number from the given interval and the robot tells the player whether the number the player is looking for is larger or smaller. The game ends when the player correctly guesses the number.

#### B. *Capital cities*

In this game, the player must assign the capital to the country. The robot begins the game by saying the name of a country and waits for the player to name the respective capital city. Then, the robot informs the player about the correctness of the answer.

### C. Seasons

In this game, the players must assign the correct season to a randomly generated date. The robot begins the game by telling the player the date, and the goal of the player is to correctly assign the season. The game ends with the player naming the season.

### D. Maths

The Maths game is about solving a simple mathematical problem of multiplication. The robot generates two numbers between 0 and 10, tells the mathematical problem and the player must tell the result correctly after which the game ends.

## IV. RESULTS

We tested the system on a total of 10 subjects aged 18 to 27 year, 8 male and 2 female. Every subject played every game implemented with the Nao robot, except for the game Capital cities which was only played 8 times and the game Maths which was played 9 times. The subjects were university students, we are yet to test the system on patients, but in this initial stage of research our goal was to evaluate the feasibility of the system's use for which purpose the selected group of subjects was sufficient. During the tests we analyzed the subjects' emotional expressions to evaluate the level of acceptance of the robot and the perceived naturalness of the interaction. The results of emotional evaluation are shown in Table 1. For each session, the most prominent emotion is shown.

Table 1  
 Emotional evaluation of game playing.

| Game           | Count of playing | Evaluated emotion                                      |
|----------------|------------------|--|
| Guess a number | 10               | happiness (5x), neutral (4x), anger (1x)               |
| Capital cities | 8                | happiness (4x), surprise (3x), neutral (1x)            |
| Seasons        | 10               | neutral (4x), happiness (4x), fear (1x), surprise (1x) |
| Math game      | 9                | neutral (5x), surprise (2x), happiness (1x), fear (1x) |

From the table we can see that the dominant emotion is happiness and neutral, both being the prominent emotion in 14 sessions throughout the test. The next most often observed emotion was surprise for a total of 6 times, followed by fear 2 times and anger 1 time. In Table 2 we can see the distribution of emotions according to the tested subject. We can see that for all subjects, the emotion happiness or neutral were the most prominent.

Table 2  
 Distribution of emotions.

| Subject | Count of emotion                            |
|---------|---|
| 1.      | happiness (3x), neutral (1x)                |
| 2.      | happiness (2x), neutral (2x)                |
| 3.      | neutral (2x), happiness (1x), surprise (1x) |
| 4.      | happiness (2x), neutral (1x), surprise (1x) |
| 5.      | neutral (1x), happiness (1x), surprise (2x) |
| 6.      | neutral (1x), happiness (1x), anger (1x)    |
| 7.      | happiness (2x), neutral (1x)                |
| 8.      | neutral (2x), happiness (1x), surprise (1x) |
| 9.      | neutral (1x), happiness (1x), fear (1x)     |
| 10.     | neutral (2x), surprise (1x), fear (1x)      |

## V. CONCLUSION

In this paper we presented a robotic system with the robot Nao that can be used in cognitive stimulation therapy. We described four simple games implemented for the system and provided a short analysis of the interactions between humans and the robot by analyzing the prevalent facial emotion observed through the use of Microsoft Face API. The system was tested and evaluated by ten subjects, all students. The results of the initial tests show that the system can be used in a real-life setting although the disturbing and noisy environment was detrimental to the complete success of the tests. Further testing of the system is needed with real patients to evaluate the feasibility of its use, and further games should also be implemented and integrated with it.



#### ACKNOWLEDGMENT

We would like to extend our gratitude to students Karina Cimborová, Dávid Gajdoš, Richard Rusňák, and Martin Tovarňák who worked on the systems presented in this paper.

#### REFERENCES

- [1] K. Wada, T. Shibata, T. Musha, and S. Kimura, "Robot therapy for elders affected by dementia," *IEEE Engineering in medicine and biology magazine*, vol. 27, no. 4, pp. 53–60, 2008.
- [2] R. Williams, C. V. Machado, S. Druga, C. Breazeal, and P. Maes, "My doll says it's ok: a study of children's conformity to a talking doll," in *Proceedings of the 17th ACM Conference on Interaction Design and Children*. ACM, 2018, pp. 625–631.
- [3] M. A. Goodrich, A. C. Schultz *et al.*, "Human robot interaction: a survey," *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, vol. 1, no. 3, pp. 203–275, 2008.
- [4] S. Shamsuddin, H. Yussof, L. Ismail, F. A. Hanapiah, S. Mohamed, H. A. Piah, and N. I. Zahari, "Initial response of autistic children in human-robot interaction therapy with humanoid robot nao," in *2012 IEEE 8th International Colloquium on Signal Processing and its Applications*. IEEE, 2012, pp. 188–193.
- [5] N. Li, D. Yang, L. Jiang, H. Liu, and H. Cai, "Combined use of fsr sensor array and svm classifier for finger motion recognition based on pressure distribution map," *Journal of Bionic Engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 39–47, 2012.
- [6] N. Ravi, N. Dandekar, P. Mysore, and M. L. Littman, "Activity recognition from accelerometer data," in *Aaai*, vol. 5, no. 2005, 2005, pp. 1541–1546.
- [7] R. L. Krutz and R. D. Vines, *Cloud security: A comprehensive guide to secure cloud computing*. Wiley Publishing, 2010.
- [8] D. Crockford, "The application/json media type for javascript object notation (json)," Tech. Rep., 2006.

# Obrysové deskriptory využívajúce waveletovú transformáciu

Ján MIHALÍK, Iveta GLADIŠOVÁ

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

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

**Abstrakt** — Článok je zameraný na opis vyhľadávania podobnosti snímok na základe obrysových deskriptorov s využitím mierkových koeficientov vo waveletovom priestore. Popísané sú jednotlivé použité metódy, a to priespracovanie snímky, extrakcia príznakov obrysu, vzorkovanie obrysu, úprava obrysu voči posunutiu, úprava obrysu voči zmene veľkosti, úprava obrysu voči otočeniu, oddelenie štartovacieho bodu, transformácia hodnôt do waveletovho priestoru a vyhľadávanie podobnosti. Na základe vyššie popísaných krokov bol navrhnutý a implementovaný algoritmus na vyhľadávanie trojice obrysův z databázy s najpodobnejšou energiou obrysu ku vstupnému obrazu, a teda aj s najpodobnejším tvarom objektu k referenčnej snímke.

**KLúčová slová** — obrysový deskriptor, waveletov deskriptor, modifikačný pomer, vzorkovanie obrysu, energia obrysu

## I. ÚVOD

Štandard MPEG-7 vníma snímku nie ako celok, ale na základe informácií, ktoré v sebe snímka obsahuje. Na základe týchto predpokladov boli zavedené deskriptory, ktoré dokážu popísať snímku na základe určitej informácie, ktorú v sebe nesie [1]. Jedným z nich je obrysový deskriptor. Pri vývoji štandardu MPEG-7 bolo zadefinovaných šesť základných princípov pre popis obrysových tvarov: dobrá presnosť pri načítaní, kompaktnosť použitia, všeobecná použiteľnosť, nízka výpočtová zložitosť, robustnosť pri spracovaní a hierarchickosť pre hrubú reprezentáciu. Zohľadňujúc tieto princípy a na základe štúdií bolo zistené, že konvenčné metódy ako Fourierov deskriptor, waveletov deskriptor, škálovanie a momenty sú vhodné pre použitie v reprezentácii tvarov objektov [2], [3]. Mierková metóda a Zernikeho momenty boli zahrnuté do štandardu MPEG-7 ako deskriptory tvaru založené na snímaní a spracovaní obrysův. Najčastejšie sa porovnávajú a zohľadňujú výsledky mierkovej metódy u Fourierovho deskriptora. V článku chceme bližšie predstaviť obrysové deskriptory využívajúce pre popis mierkové koeficienty vo waveletovom priestore. Pre vyhľadávanie objektov v databáze obrazov na základe obrysovej podobnosti bol v programovom prostredí Matlab navrhnutý a implementovaný algoritmus využívajúci kombináciu jednoduchého momentového opisu a hierarchickej waveletovej reprezentácie obrysových hodnôt amplitúd [3], [4], [5].

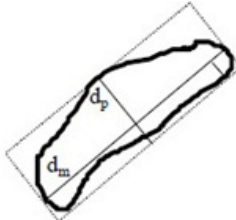
## II. POPISOVANIE OBRYSOV POUŽITÍM WAVELETOVHO DESKRIPTORA

Použitie momentov je jedným zo spôsobov opisu obrysu, kedy sa berú do úvahy globálne vlastnosti, symetria a rozptyl. Takýto okamihový opis je vhodný pre jednoduché zhody vyhľadávania a neberie do úvahy lokálne obrysové zmeny. Medzi často používaný spôsob pre obrysovú reprezentáciu patrí Fourierov deskriptor. Najlepšie však reprezentuje globálne a lokálne obrysové charakteristiky waveletov deskriptor. Výhodou waveletových koeficientov je vlastnosť priestorovej lokalizácii [6], [7]. Waveletová transformácia (WT) môže byť implementovaná použitím viacnásobnej rozlišovacej analýzy. Ak sú obrysy dané pravouhlými súradnicami  $x$ -ovej a  $y$ -ovej zložky, tak WT sa musí aplikovať na každú zložku, pretože obe obsahujú obrysovú informáciu. Pre tvary sa odporúča použiť opis podľa:

- tvaru, ktorý povoľuje jeho aproximáciu zvýšením alebo znížením počtu Waveletových koeficientov;
- lokalizačnej vlastnosti WT, ktorá koncentruje lokálne rozdiely medzi tvarmi v limitovanej sade koeficientov;
- WT, ktorá je aplikovateľná na ľubovoľné reprezentácie tvaru. Umožňuje jednoduchú definíciu pre kritéria rotačnej a mierkovej nezávislosti.

### Výber charakteristických znakov obrysu

Prvým krokom je vloženie filtra a následné vloženie vybraného objektu do obrazového buffera. Filter separuje obrysové body od ostatných segmentových bodov. Nájdený obrys je potom vzorkovaný, pričom prvý bod, ktorý sa nájde postupným „skenovaním“ obrazu, sa nazýva štartovací bod. Počet ovzorkovaných obrazových bodov obrysu sa musí upraviť na mocninu dvoch, aby sme mohli urobiť hierarchický waveletov rozklad (transformáciu) a porovnať dva obrisy, aj s rôznymi veľkosťami. Pre jeden obrysový moment je vypočítaný jeden obrys. Určí sa modifikačný pomer, ktorý sa vypočíta ako pomer dĺžky maximálnej diagonálnej uhlopriečky  $d_m$  a dĺžky maximálnej kolmej uhlopriečky  $d_p$  na maximálnu diagonálnu uhlopriečku. Diagonály  $d_p$  a  $d_m$  sú zobrazené na Obr.1 a charakterizujú obrys podľa tvaru (kruhovitý, eliptický a ihlovitý).



Obr.1. Určenie modifikačného pomeru.

Modifikačný pomer je kvantovaný do 16 diskretných hodnôt. Parameter  $d_m$  sa používa pri obrysoch na zníženie vplyvu rotácie a na zmenu pôvodného štartovacieho bodu na jeden z bodov medzi obrysom a  $d_m$ . Najjednoduchšie je vybrať prvý bod od pôvodného štartovacieho bodu [3], [6]. Po zmene štartovacieho bodu sa hodnoty amplitúd  $z(n)$  vypočítajú zo všetkých obrysových bodov  $(x(n), y(n))$  s ohľadom na stred  $(c_x, c_y)$  nasledovne:

$$z(n) = \sqrt{(x(n) - c_x)^2 + (y(n) - c_y)^2} \quad (1)$$

Hodnoty amplitúd sú transformované do waveletového priestoru s cieľom získania mierkových a waveletových koeficientov. Hĺbka transformácie (počet úrovní) závisí od počtu obrysových bodov. Najnižšie waveletové pásmo by malo mať minimálne 16 mierkových koeficientov na získanie výsledkov, tým je hĺbka transformácie redukovaná na počet  $\log_2(16) = 4$ . Mnohoúrovňová WT charakterizuje obrys postupným spôsobom, pričom v implementovanom algoritme bol použitý pridružený počet koeficientov. Waveletová obrysová reprezentácia je spojená s modifikačným pomerom objektu s cieľom zostavenia navrhovaného obrysového deskriptora [4], [7].

### Algoritmus vyhľadávania podobnosti obrysov

Pri porovnávaní sa berie do úvahy najprv koeficient úpravy referenčného obrysu – vektor  $v_R$  a obrysu z databázy – vektor  $v_{DR}$ . Vektor  $v_R$  sa porovnáva s  $v_{DR}$  tak, aby  $|v_R - v_{DR}| \leq 2$ , pričom hodnota 2 bola stanovená pre odchýlku. Vektor  $v_R$  je používaný na získanie podmnožiny obrysov z databázy, ktoré sú najviac podobné vstupnému obrysu. V porovnávacom kroku sú mierkové koeficienty oboch obrysov. Úroveň detailu môže byť vybraná používateľom programu. Vlastnosťou podobnosti pri vyhľadávaní je aj nezávislosť od posunu, zmeny mierky a rotácie. Normalizačný faktor berie do úvahy rozdielnu transformačnú hĺbku oboch obrysov. V hierarchickej WT každý jednoduchý transformačný krok obsahuje normalizačný faktor  $\sqrt{2}$ . Medzi mierkovými koeficientami z referenčného a obrysu z databázy je vykonaný výpočet korelácie [3]. Následne sa vypočíta kvadratická chyba medzi oboma obrysmi

$$qe(k) = \sum_{n=0}^N (d_R(n) - f d_{DR}(n+k))^2 \quad (2)$$

kde  $d_R$  sú mierkové koeficienty referenčného obrysu,  $d_{DR}$  sú mierkové koeficienty obrysu z databázy,  $N$  je počet koeficientov vybraných užívateľom,  $k$  je posunutie obrysu,  $f$  je kompenzačný faktor. Ak je obrys z databázy zmenený jedným mierkovým koeficientom, tak kvadratická chyba sa vypočíta znovu. Postup sa opakuje, pokiaľ hodnoty kvadratickej chyby pridruženého posunutia  $k$  nie sú vypočítané pre všetky posunutia. Minimálna kvadratická chyba  $qe_{min}$  je počítaná zo všetkých možných hodnôt  $qe(k)$  [3].

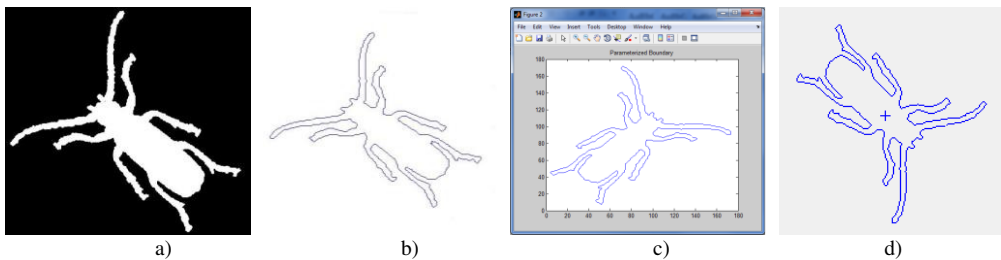
### III. METÓDY ZOHLADNENÉ PRI VYHĽADÁVANÍ PODOBNOSTÍ A IMPLEMENTÁCIA ALGORITMU

Popisovanie obrysov s využitím WT je možné zhrnúť do niekoľkých základných krokov: predspracovanie snímky, extrakcia príznakov obrysu, vzorkovanie obrysu, úprava obrysu voči posunutiu, úprava obrysu voči zmene veľkosti, úprava obrysu voči otočeniu, oddelenie štartovacieho bodu, transformácia hodnôt do waveletovho priestoru a vyhľadávacie podobnosti. Jednotlivé kroky si popíšeme podrobnejšie.

a) Prvým krokom, ktorý je potrebné vykonať pred samotnou extrakciou príznakov, je „predspracovanie vstupnej snímky“. V tomto kroku je snímka prevádzaná do binárneho tvaru,

aby sa následne uľahčilo ďalšie spracovanie, a aby predspracovaná snímka obsahovala už iba informácie potrebné pre ďalšie spracovanie (Obr.2a).

b) V kroku „*extrakcie príznakov obrysu*“ je dôležité „vytiahnuť“ obrys objektu do popredia a ostatné zložky, ktoré netvoria súčasť obrysu, odstrániť (Obr.2b).



Obr.2 a) Referenčná snímka v binárnom tvare, b) obrys získaný z referenčnej snímky, c) parametrizovaný obrys, d) centrováný obrys.

c) V kroku „*vzorkovanie obrysu*“ bola v programe Matlab využitá funkcia `affine_contour_trace`, ktorej úlohou je parametrizovať obrys, ktorý je výstupom predošlých krokov. Dôležité je správne umiestnenie obrysu v priestore a taktiež odhalenie všetkých jeho súčastí, ktorých nesprávne parametrizovanie by mohlo viesť k chybnému prideleniu súradníc v karteziánskej sústave. Pri parametrizácii obrysu ide o priradenie  $x$ -ových a  $y$ -ových súradníc jeho obrysovým bodom. Táto funkcia programu Matlab pracuje tak, že nájde prvý bod obrysu v pravom dolnom rohu snímky. Od určenia tohto bodu sa odráža ďalšie parametrizovanie obrysu. Program v tomto bode začne snímať okolie bodu pomocou štvorsuseda alebo osemuseda, a takto nájdenému najbližšiemu bodu obrysu prideli príslúchajúcu  $x$ -ovú a  $y$ -ovú súradnicu. Týmto spôsobom sa parametrizuje celý obrys, až kým sa program nevráti na prvý bod obrysu. Takto parametrizovaný obrys je možné považovať za uzavretú obrysovú krivku, ktorej dĺžku udáva počet obrysových bodov (Obr.2c). Obrys je potrebné parametrizovať v smere hodinových ručičiek a postupnosť súradníc zachovať pre ďalšie spracovanie. Zo vzniknutých parametrizovaných bodov je vytvorená dvojrozmerná matica  $x$ -ových a  $y$ -ových bodov, ktorej veľkosť zodpovedá dĺžke obrysu. Získané obrysové body sú však závislé a citlivé na rotáciu, posunutie a škálovanie. Pre odstránenie týchto problémov je nutné použiť normalizačný proces, ktorý dané problémy vyrieši a je popísaný v nasledujúcich krokoch.

d) V kroku „*úprava obrysu voči posunutiu*“ je potrebné si uvedomiť, že obrys je parametrizovaný vzhľadom na umiestnenie v snímke. Teda ľavý dolný roh snímky sa považuje za začiatok súradnicovej sústavy a od tohto bodu sa odvíja aj samotné parametrizovanie. Pri takomto spôsobe parametrizácie však nastáva problém. Ak sa objekt na snímke posunie na iné miesto v snímke, jeho  $x$ -ové a  $y$ -ové súradnice sa zmenia, aj keď ide o ten istý objekt s tou istou veľkosťou a tou istou orientáciou v priestore. Na riešenie tohto problému bol zavedený pojem *centralizovaný obrys*. Podstata spočíva v nájdení centrálného bodu obrysu a v následnom posunutí tohto obrysu tak, aby centrálny bod ležal v strede obrysu. Centrálny bod sa vypočíta tak, že sa spočítajú  $x$ -ové súradnice obrysu a prededia sa ich počtom, podobne je vypočítaná aj  $y$ -ová súradnica centrálného bodu. Vzhľadom na tento centrálny bod je následne prepočítaný obrys tak, aby centrálny bod ležal v jeho strede. Výsledok je na Obr.2d).

e) Pri prehľadávaní vstupnej snímky, t.j. vstupného obrysu v databáze obrazov, kde sú rozmanité tvary objektov a rôzna veľkosť či dĺžka ich obrysov, je potrebné eliminovať chybu pri hľadaní podobností. V kroku „*oddelenie štartovacieho bodu*“ ide o určenie toho istého štartovacieho bodu pre objekty s podobným tvarom, ale rozličnou veľkosťou a dĺžkou obrysu. Riešením je nájdenie bodu obrysu, ktorý je najbližšie k centrálnemu bodu. Tento bod je označený za štartovací bod a celá matica obrysu sa preusporiada vzhľadom na tento štartovací bod tak, aby smer vzorkovania obrysových bodov zostal zachovaný (v smere hodinových ručičiek).

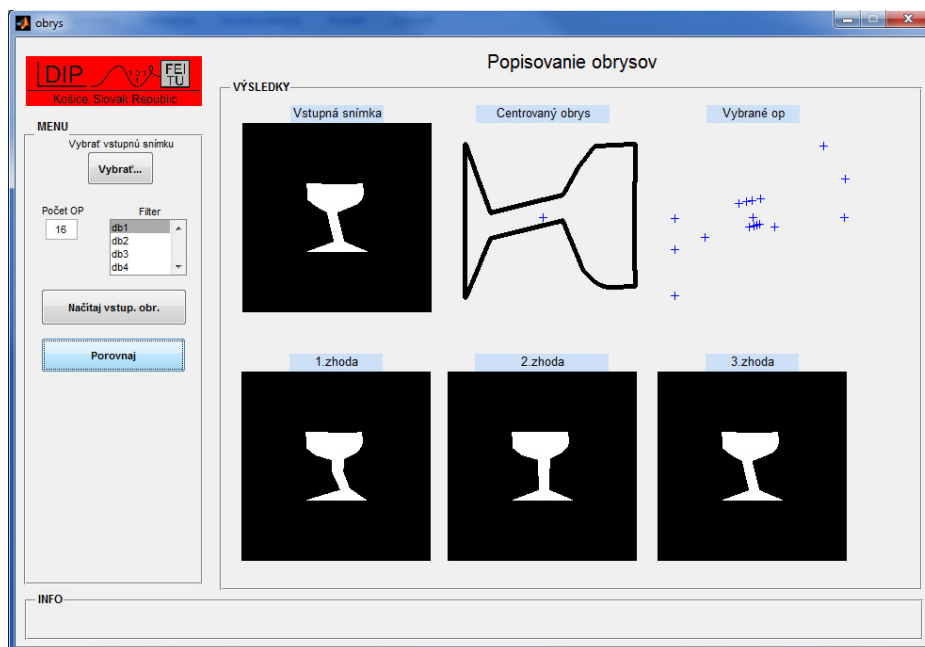
f) Ďalší problém nastáva, ak je obrys z databázy otočený v priestore. Riešením tohto problému v kroku „*úprava obrysu voči otočeniu*“ je prepočítanie  $x$ -ových a  $y$ -ových súradníc karteziánskej sústavy vstupného obrysu do polárnych súradníc. Takto získame novo-parametrizovaný obrys, ktorý je daný dĺžkou vektorov obrysu a uhlom, ktorý zvierá s  $x$ -ovou osou.

g) V kroku „*úprava obrysu voči zmene veľkosti*“ je potrebné si uvedomiť, že každý objekt podobného tvaru je charakterizovaný svojím modifikačným pomerom. Výpočet modifikačného pomeru sme uviedli v texte k Obr.1. Tým je každý obrys definovaný aj modifikačným pomerom, ktorý je pre podobné tvary objektov jedinečný.

h) Pre ďalšie spracovanie je potrebné v kroku „*transformácia hodnôt do waveletovho priestoru*“ previesť získané súradnice parametrizovaného obrysu do waveletovho priestoru pomocou WT. Výskumy v minulosti ukázali, že s využitím Waveletovho priestoru sú získané informácie odolnejšie na šum, teda ich hodnoty sú presnejšie a vhodnejšie pre ďalšie spracovanie. V tomto kroku sa v programe používateľom vyberie určitý počet obrysových bodov, ktoré chce

porovnávať v databáze. Získané hodnoty amplitúd  $z(n)$  (rov.1) sú transformované do waveletovho priestoru s cieľom získania mierkových koeficientov. Z týchto mierkových koeficientov sú následne vypočítané energie jednotlivých obrysov. Týmto spôsobom získame obrysy, ktoré sú špecifické svojím modifikačným pomerom a energiou.

i) Z dôvodu, že nie je možné bližšie odhadnúť, koľko bodov obrysu a aký tvar obrysu používateľ bude prehľadávať, databáza je tvorená obrazmi, ktoré sú uložené ako matice  $x$ -ových a  $y$ -ových súradníc. Pri „vyhľadávaní podobnosti“ medzi referenčnou snímkou a snímkami databázy je v prvom kroku vypočítaný modifikačný pomer jednotlivých obrysov. Algoritmus prehľadáva databázu a usporiada obrysy v poradí od najpodobnejšieho modifikačného pomeru po najmenej podobný. Pre ďalšie spracovanie sú uvažované už iba množiny obrysov s najpodobnejším modifikačným pomerom. V ďalšom kroku si používateľ zvolí počet obrysových bodov, ktorých energiu chce porovnávať, a na základe ktorých sa bude vyhľadávať najpodobnejšia množina obrysov. Počet zvolených obrysových bodov sa na základe polárnych súradníc rozpočíta rovnomerne po obvodě obrysu a vďaka uhlom, ktoré týmto bodom prináležia, sa v databáze vyberú  $x$ -ové a  $y$ -ové súradnice týchto bodov. Z nich sa vypočítajú hodnoty amplitúd  $z(n)$ . Hodnoty amplitúd sú následne transformované do waveletovho priestoru a zo získaných hodnôt mierkových koeficientov sa vypočítajú energie prislúchajúce jednotlivým obrysom v databáze. V ďalšom kroku sú tieto energie obrysov z databázy porovnávané s energiou referenčného obrysu a na základe euklidovskej vzdialenosti sa vyberie trojica obrysov z databázy s najpodobnejším tvarom. Na obr. 3 môžeme vidieť ukážku dosiahnutého výsledku vyhľadávania obrysu referenčnej snímky z databázy v nami navrhnutom simulačnom programe.



Obr.3 Výsledok vyhľadávania referenčnej snímky v databáze.

#### IV. VÝSLEDKY A ICH ZHODNOTENIE

V tabuľkách 1. a 2. sú uvedené dosiahnuté výsledky, ktoré navzájom porovnávajú úspešnosť vyhľadávania pre jednoduchšie a zložitejšie tvary obrysov v snímkach. V Tab.1 je porovnávaná úspešnosť vyhľadania pri voľbe rôzneho počtu bodov obrysu a rôznej úrovni WT pre jednoduché tvary objektov. V Tab.2 je rovnaké vyhodnotenie pre zložitejšie tvary obrysov.

Tab. 1. Výsledkov percentuálnej úspešnosti vyhľadávania pre jednoduchšie tvary objektov

| Priemerná percentuálna úspešnosť |    |     |     |    |    |    |
|----------------------------------|----|-----|-----|----|----|----|
| Počet obrysových bodov           | 5  | 10  | 15  | 20 | 25 | 30 |
| 1.uroveň                         | 33 | 100 | 100 | 33 | 33 | 66 |
| 2.uroveň                         | 33 | 100 | 100 | 66 | 33 | 66 |
| 3.uroveň                         | 33 | 66  | 66  | 33 | 33 | 33 |
| 4.uroveň                         | 33 | 66  | 33  | 33 | 33 | 33 |

**Tab.2.** Výsledkov percentuálnej úspešnosti vyhľadávania pre zložitejšie tvary objektov

| Počet<br>obrysových<br>bodov | Priemerná percentuálna úspešnosť |    |    |    |    |    |
|------------------------------|----------------------------------|----|----|----|----|----|
|                              | 5                                | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| 1.uroveň                     | 0                                | 33 | 33 | 0  | 33 | 66 |
| 2.uroveň                     | 0                                | 0  | 33 | 33 | 33 | 66 |
| 3.uroveň                     | 0                                | 33 | 0  | 33 | 66 | 33 |
| 4.uroveň                     | 0                                | 0  | 33 | 33 | 66 | 33 |

Ako z vyššie uvedených tabuliek vyplýva, pre jednoduchšie tvary je úspešnosť vyhľadávania vyššia. Pri jednoduchších tvaroch objektov pre nájdenie minimálne dvoch snímok s podobným tvarom obrysu z databázy sa zdá ako najoptimálnejšie riešenie voliť počet obrysových bodov od 10 do 15 a zvoliť úroveň WT prvú alebo druhú. Pre nájdenie lepšej zhody pri zložitejších tvaroch je najvhodnejšia voľba počtu bodov obrysu od 25 až 30 a úroveň WT od 1 do 4. Údaj voľby počtu obrysových bodov zrejme nie je možné presnejšie určiť a je možné predpokladať, že jeho hodnota sa bude meniť v závislosti od pravidelnosti tvaru objektu. Ak predpokladáme, že pri podobných tvaroch sú vybrané obrysové body s rovnakou výpovednou hodnotou, potom je možné tvrdiť, že pri zvyšovaní počtu bodov sa úspešnosť vyhľadávania bude zvyšovať. Hlavným smerníkom pre presnosť porovnávania bude zrejme hneď na začiatku celého procesu určenie štartovacieho bodu. Pre jeho presnejšie a jasnejšie určenie by bolo vhodné zvoliť presnejší algoritmus, ktorý by bral do úvahy viac premenných, nielen vzdialenosť od centrálného bodu (tak ako to bolo v našom prípade). Za zmienku stojí aj to, že postup určovania presnosti vyhľadávania neberie v úvahu umiestnenie, na ktorom sa najbližší podobný tvar nachádza. Program je navrhnutý tak, aby na prvé miesto umiestnil najpodobnejší tvar a na posledné miesto najmenej podobný. V štatistickom vyhodnotení nerozlišujeme, či sa podobnosť našla na prvom, druhom, prípadne treťom mieste a hľadaniu priradzujeme rovnakú percentuálnu úspešnosť.

## V. ZÁVER

Vývoj štandardu MPEG7 priniesol veľké množstvo opisových deskriptorov, ktoré umožnili rozpoznávanie snímok na základe ich charakteristických znakov, na ktoré sú tieto deskriptory zamerané. Článok bol zameraný na opis vyhľadávania podobností snímok na základe obrysových deskriptorov s využitím mierkových koeficientov vo waveletovom priestore. Postupne boli predstavené kroky od prevodu snímky na binárny tvar, separácie obrysu (hranová detekcia na základe Prewittovej operátora), jeho parametrizácii. Na odstránenie závislosti obrysu na rotácii v priestore boli súradnice obrysu prevedené do priestoru polárnych súradníc. V tomto kroku bol obrys centrován a na základe správneho určenia štartovacieho bodu bolo zaručené, že pri vzorkovaní obrysu podobných snímok bude vždy nasnímaný ten istý bod obrysu v rovnakej postupnosti. Keďže porovnanie obrysov je možné iba pre rovnaký počet obrysových prvkov, program dokázal na základe polárnych súradníc zvoliť počet bodov, ktoré chceme porovnávať a rozmiestniť ich rovnomerne po celej dĺžke obrysu. Súradnice týchto bodov boli následne transformované do waveletovho priestoru. Na základe vyššie popísaných krokov bola vypočítaná energia vstupných obrysov. Táto bola pomocou euklidovskej vzdialenosti porovnávaná s energiou obrysov v databáze a výstupom programu je trojica obrysov s najpodobnejšou energiou, a teda aj s najpodobnejším tvarom. Na podobnom princípe vyhľadávania pracujú v dnešnej dobe rôzne medicínske, bezpečnostné a autonómne systémy, ktoré sú dennodenne používané.

## VI. LITERATÚRA

- [1] Bober, M.: MPEG-7 Visual Shape Descriptors. IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, 11 (6), 716-719 (2001). Dostupné na internete: [https://www.researchgate.net/publication/3308308\\_MPEG7Visual\\_shape\\_description](https://www.researchgate.net/publication/3308308_MPEG7Visual_shape_description)
- [2] Sikora, T.: The MPEG-7 Visual Standard for Content Description – An Overview. IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, 11 (6), 696-702 (2001). Dostupné na internete: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.320.8205&rep=rep1&type=pdf>
- [3] Müller, K., Ohm, J. R.: Contour Description using Wavelets. Proc. of WIAMIS'99, 77-80, (1999). Dostupné na internete: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.84.3156&rep=rep1&type=pdf>
- [4] Chuang, G. C. H., Kuo, C. C. J.: Wavelet Descriptor of Planar Curves: Theory and Applications. IEEE Trans. on Image Processing, 5 (1), 56-70 (1996). Dostupné na internete: <http://sipi.usc.edu/~ortega/WaveletPapers/contour1.pdf>
- [5] Mihálik, J., Závacký, J.: Diskrétné spracovanie signálov, TU FEI Košice, 319 s., (2011).
- [6] Fiala, J.: Waveletová transformace. Materials Structure, 6 (1), 29-37 (1999). Dostupné na internete: <https://www.xray.cz/ms/bul99-1/fiala.pdf>
- [7] Dengsheng Z., Guojun L.: Review of Shape Representation and Description Techniques. Pattern Recognition, 37 (1), 1-19 (2004). Dostupné na internete: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.72.5279&rep=rep1&type=pdf>

# Simulation of Electricity Production from Small Wind Turbine in locality of Košice

<sup>1</sup>Jakub URBANSKÝ, <sup>2</sup>Michal ŠPES, <sup>3</sup>Daniel PÁL, <sup>4</sup>Lubomír BEŇA,  
<sup>5</sup>Michal MÁRTON

<sup>1,2,3,4</sup> Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Electrical Engineering  
and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>5</sup> Department of Electronics and Multimedia Telecommunications, Faculty of Electrical  
Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>jakub.urbansky@tuke.sk, <sup>2</sup>michal.spes@tuke.sk, <sup>3</sup>daniel.pal@tuke.sk,  
<sup>4</sup>lubomir.bena@tuke.sk, <sup>5</sup>michal.marton@tuke.sk,

**Abstract** — Due to pollution caused by conventional electricity production, such as coal power plants, it is possible to notice increased demand for application of new clean energy sources. Typical representatives of this sources are wind turbines and photovoltaic panels. This sources can be utilized in various forms, from household usage to usage in large power plants. Therefore, estimating their production is relevant task. The main purpose of this article is to investigate possibilities of electricity production from small wind turbine in locality of Košice. Small wind turbine was implemented in computer software Matlab Simulink. Based on carried out simulations with usage of real data of wind speed measured at our department we can state practical usage of small wind turbine as supplementary energy source in household application.

**Keywords** — electricity production, simulation, wind turbine, renewables

## I. INTRODUCTION

With the ever-increasing number of the world's population, the demand for energy is increasing, especially for electricity. It is widely known fact that the energy stored in fossil fuels will be depleted over the next few years. It is therefore important to develop new sources of energy and to deploy already existing alternative and renewable resources to meet the global demand for energy with the least possible burden on the environment.

At present, the production of electricity from renewable sources, both in large photovoltaic and wind power plants, as well as in local conditions such as production halls, large settlements, family houses, etc., is gaining popularity at both domestic and international levels.

In year 2018 gross annual wind installations in Europe decreased to 11.7 GW, with 0.4 GW being decommissioned. It was a significant decrease compared to 17.1 GW in 2017 which was record year for Europe. [1]

The main aim of this article will be investigate possibilities of electricity generation from small wind turbine in locality of Košice.

The primary goal is to create model of the particular wind turbine in simulation software Matlab Simulink. The secondary goal will be carry out simulation based on real wind speed measurements realized on Department of Electrical Power Engineering.

## II. WIND ENERGY

Solar radiation heats both the Earth's surface and the atmosphere. The temperature difference between the atmosphere and the earth's surface causes air to flow that is the source of wind energy. [2]

The energy of moving air mass can be expressed by the kinetic energy equation (1) [3]:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \text{ (J)} \quad (1)$$

Where:

$m$  - mass (kg)

$v$  - moving mass velocity ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

The following equation (2) applies to mass [3]:

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot A \cdot s \quad (\text{kg}) \quad (2)$$

Where:

$A$  - area by which the given air volume flows ( $\text{m}^2$ )

$s$  - distance which the moving air passes (m)

From (1) and (2) for wind power flowing through the unit area is possible to establish equation (3) [3]:

$$P_v = \frac{E}{A \cdot t} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{A \cdot s}{A \cdot t} \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \quad (\text{W}\cdot\text{m}^{-2}) \quad (3)$$

#### A. Wind turbine

A wind turbine is a device that converts the wind's kinetic energy into mechanical energy. In wind power plants, kinetic energy is converted into mechanical energy, which is then transformed into electrical energy. [3]

By axis rotation is possible to divide wind turbines as (see Fig. 1) [3]:

- vertical,
- horizontal.

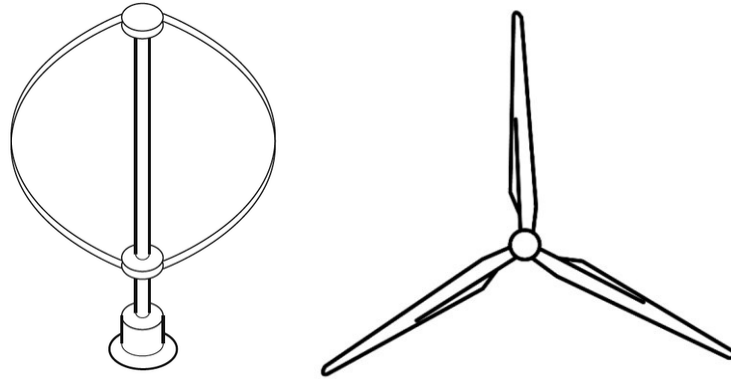


Fig. 1 Vertical (left), horizontal (right) turbine

#### B. Model description

Due to low average wind speeds in location of Košice, turbine, Airdolphin PRO Z-1000-48 (Fig. 2) with low cut-in wind speed (see Tab. 1.) was chosen. [4]



Fig. 2 Examined wind turbine [4]

The technical specifications of chosen wind turbine are listed in Table 1. Nominal power of wind turbine is 1kW at wind speed of  $12,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .



Table 1  
 Technical specification of wind turbine [4]

| Wind Turbine Type   | Horizontal axis, up-wind      |
|---------------------|-------------------------------|
| Rotor Diameter      | 1800 mm                       |
| Mass                | 17,5kg                        |
| Number of Blades    | 3                             |
| Cut-in Wind Speed   | 2,5 m.s <sup>-1</sup>         |
| Cut-out Wind Speed  | -                             |
| Survival Wind Speed | 65 m.s <sup>-1</sup>          |
| Rated Power         | 1kW at 12,5 m.s <sup>-1</sup> |
| Rated Rotor Speed   | 1000 rpm                      |
| Maximum Power       | 2,3kW at 20 m.s <sup>-1</sup> |

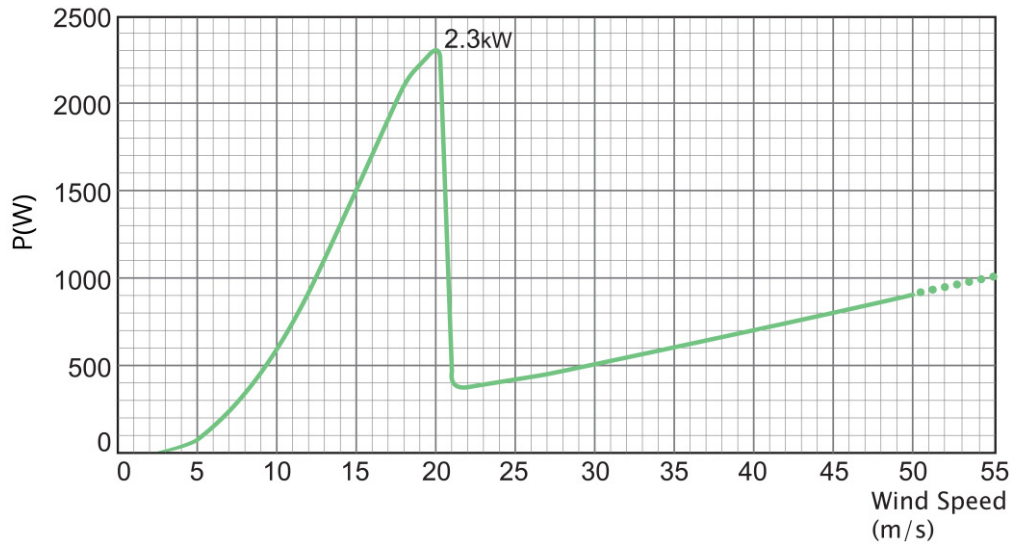


Fig. 3 Examined wind turbine [4]

Power output characteristic of Z-1000-48 is shown at Fig. 3 with peak power of 2,3 kW at wind speed of 20 m.s<sup>-1</sup>.

### C. Implementation in Simulink

Wind turbine is implemented in Matlab Simulink based on power output characteristic shown on Fig. 3 Cut-in wind speed of turbine is 2,5 m.s<sup>-1</sup> and survival wind speed is 65 m.s<sup>-1</sup>, such high wind speed isn't common for the local climatic conditions. Thus, it was found that wind speed of 55 m.s<sup>-1</sup> should be adequate boundary value, and this value was set as cut-of wind speed in simulation.

$$P(v) = \begin{cases} P = P_{0-2,5}; v < 2,5 m.s^{-1} & (4) \\ P = P_{2,5-20}; 2,5 m.s^{-1} \leq v < 21 m.s^{-1} & (5) \\ P = P_{21-55}; 21 m.s^{-1} \leq v < 55 m.s^{-1} & (6) \end{cases}$$

For wind speeds 0 – 2,5 m.s-1 is power output based on Fig. 3 defined as 0W. Therefore, for (4) can be mathematically stated as:

$$P_{0-2,5} = 0 W \quad (7)$$

For wind speeds 2,5 – 20 m.s-1 is power output based on Fig. 3. defined as approximated curve with polynomial equation of fourth order.

Therefore, for (5) can be mathematically stated as:

$$P_{2,5-20} = -0,04v^4 + 1,33v^3 - 5,69v^2 + 30,92v - 65,88 (W) \quad (8)$$

With accuracy of  $R^2 = 0,99$

For wind speeds  $21 - 55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  is power output based on Fig. 4. defined as approximated curve with polynomial equation of fourth order.

Therefore, for (6) can be mathematically stated as:

$$P_{21-55} = 0.0008v^4 - 0.1332v^3 + 7.9905v^2 - 187.79v + 1872.2 (W) \quad (9)$$

With accuracy of  $R^2 = 0,96$

For wind speeds  $55 - \infty \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  is power output set to 0 W.

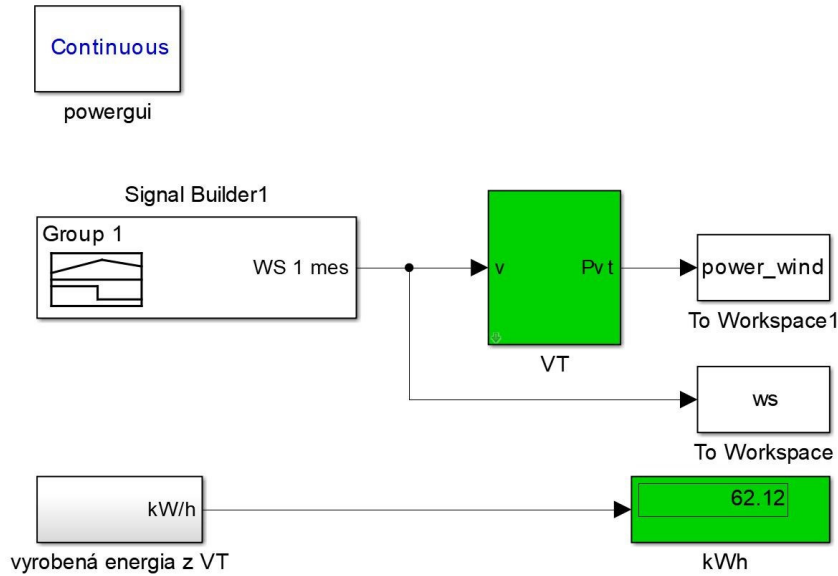


Fig. 4 Implementation of model in environment of software Matlab Simulink

At Fig. 4. is shown final model implemented in Matlab Simulink. Input parameter is wind speed in  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  and output is in watts. Model is also calculating produced electric energy in kWh.

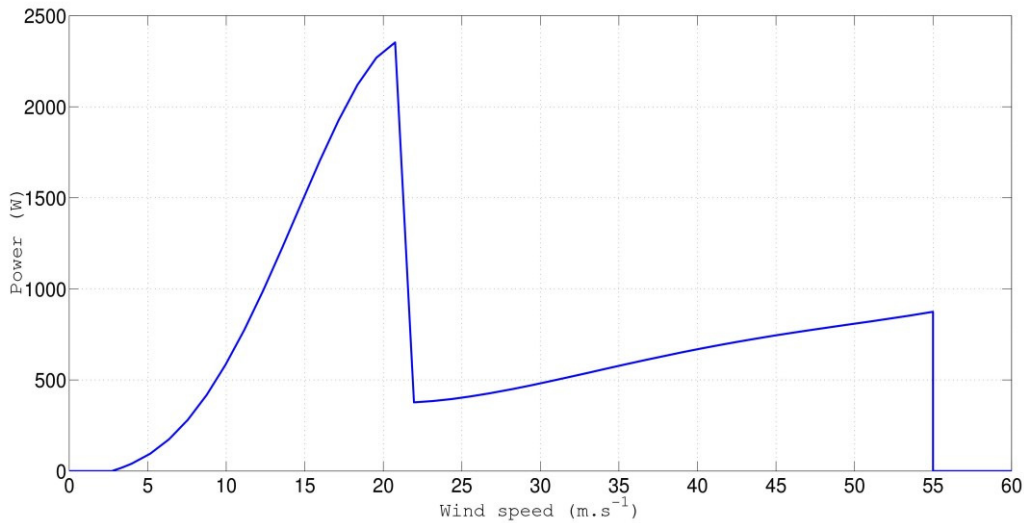


Fig. 5 Implementation of power output characteristic in Simulink model

Final implementation of power output characteristic based on (7), (8) and (9) is shown at Fig. 5.

### III. SIMULATIONS

Simulation was running in continuous mode with ode45 solver which is capable of solving nonstiff differential equations — medium order method, with simulation step of 1s. Input parameter was values of wind speed measured at Department of Power Engineering for period of one month. Specifically, month January of 2015 was selected, with average wind speed of  $3,176 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Time course of measured wind speed is shown at Fig. 6. Based on model calculation wind turbine produced 62,12 kWh of electricity (Fig. 4).

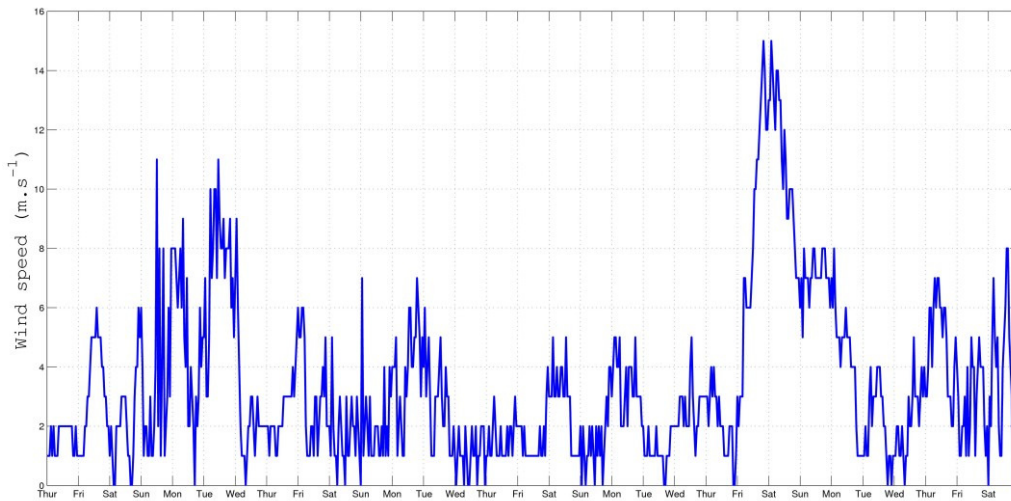


Fig. 6 Time course of measured wind speed for month January of 2015

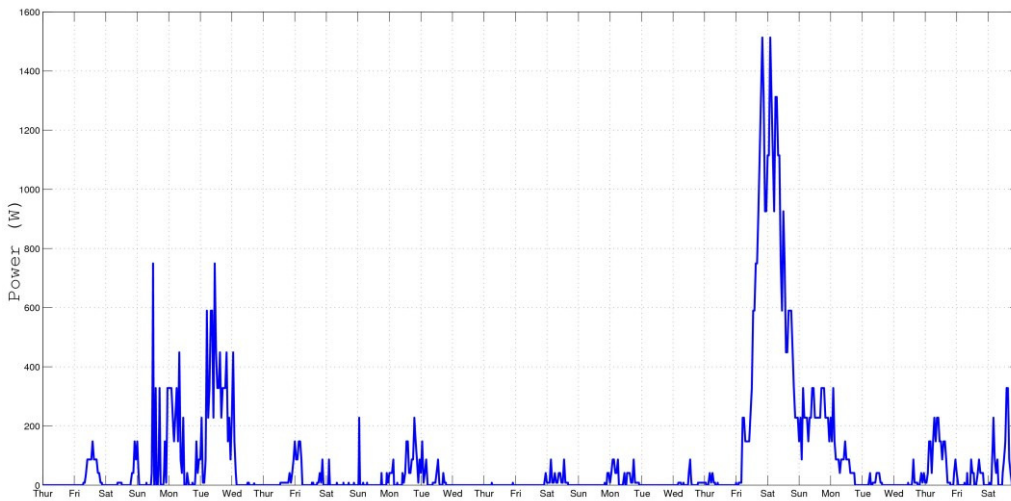


Fig. 7 Time course of calculated wind turbine power output for month January of 2015

At Fig. 7 time course of calculated wind turbine power output for month January of 2015 is shown. It is possible to conclude based on peak wind speeds for 22<sup>th</sup> and 23<sup>th</sup> from Fig. 6., that peak in wind electricity production also match 22<sup>th</sup> and 23<sup>th</sup> day of January of year 2015.

#### IV. CONCLUSION

In this article we have decided to investigate possibility of electricity production from wind in local conditions.

The main goal of this article was to investigate theoretical background of small household wind turbines and create a computer simulation of one specific wind turbine energy production. Since most of the wind turbines have high cut-in wind speeds, turbine with one of lowest possible cut-in speed was chosen.

This turbine power out characteristic provided by manufactures was successfully implemented in to Matlab Simulink environment via polynomial approximation where we specified 2 stages with mathematical equations and 2 via constant 0 W value. Established model is dynamically calculating power output of wind turbine based of wind speed on input. It would be interesting to verify this modeling approach with real wind turbine and wind speed measuring sample time of 1s.

It is possible to conclude that such wind turbine in our local conditions wouldn't make sense. Produced electricity wasn't sufficient enough to justify purchase costs. Price of such turbine is circa 3600€, it is possible to buy similar wind turbines from China for fraction of cost, however with questionable durability and reliability. For that price would be in our local conditions much more reasonable to invest financial resources in to photovoltaic panels, circa 18 panels or more could be purchased for similar price, and produce much more carbon free electricity this way.

#### ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Scientific Grant Agency of the Ministry of Education of Slovak Republic and the Slovak Academy of Sciences by the projects VEGA No. 1/0372/18.

#### REFERENCES

- [1] Wind EUROPE: Wind energy in Europe in 2018, p. 11 [Online]. Available at: <<https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Statistics-2018.pdf>> Accessed on March 10, 2019
- [2] QUASCHING, V. Understanding Renewable Energy Systems in Earthscan. Earthscan, 2005, ISBN 1-84407-128-6, p. 19.
- [3] MASTNÝ, P. Obnovitelné zdroje elektrické energie in Praha. České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2, p. 37.
- [4] Manualslib: Zephyr Airdolphin Pro Z-1000 - 48 Instruction Manual [Online]. Available at: <<https://www.manualslib.com/manual/846818/Zephyr-Airdolphin-Pro-Z-1000-48.html>> Accessed on March 10, 2019
- [5] e-Marine-Systems: Airdolphin 48V Pro Brochure [Online]. Available at: <<http://www.emarineinc.com/pdf/WGZ30048.pdf>> Accessed on March 10, 2019

# Vplyv konfigurácie čerpaceho zdroja EDFA na generovanie SPM vo WDM systémoch

<sup>1</sup>Tomáš HUSZANÍK, <sup>2</sup>Ján TURÁN, <sup>3</sup>Luboš OVSENIK,

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

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

**Abstrakt** — Tento príspevok skúma charakteristiky erbiom dopovaného optického vláknového zosilňovača (EDFA – Erbium Doped Fiber Amplifier) s využitím 10 Gbit/s jednonáložového WDM systému. Zároveň sa simulujú a merajú závislosť zosilnenia a konfigurácie čerpaceho zdroja EDFA v jednonáložovom prenosovom systéme 10 Gbit/s. Simulácia je zameraná na vyšetrenie vplyvu troch čerpacích zdrojov (dopredný, spätný a dopredno-spätný) s vlnovou dĺžkou čerpaceho zdroja 1480 nm. Predmetom skúmania je aj vplyv nelineárnych javov, konkrétne vlastnej fázovej modulácie (SPM – Self Phase Modulation), ktoré sú hlaným faktorom limitujúcim prenos vo WDM systémoch.

**Keywords** — BER, EDFA, SPM, WDM

## I. ÚVOD

Vďaka rastúcej potrebe vyšších prenosových rýchlostí a väčšiemu množstvu prenesených dát dosahujú optické káblové vedenia svoje hranice prenosových kapacít. Jednou z možností tvorby efektívneho využitia optických vedení je multiplexovanie na základe vlnovej dĺžky (WDM). V súčasnej dobe je možné použitím prenosovej rýchlosti 10Gbps (STM-64) vytvoriť pomocou WDM až 128 spektrálnych kanálov dosahujúcich celkovú prenosovú rýchlosť 1Tbps v jednom optickom vlákne. Najväčším problémom pri prenose optického signálu na veľké vzdialenosti je útlm. Najefektívnejšou možnosťou ako prekonať veľké vzdialenosti je použitie optických zosilňovačov. V optických komunikáciách rozlišujeme niekoľko typov optických zosilňovačov - sú to vláknové zosilňovače (EDFA), polovodičové zosilňovače (SOA – Semiconductor Optical Amplifier) alebo zosilňovače založené na Ramanovom efekte [1-4].

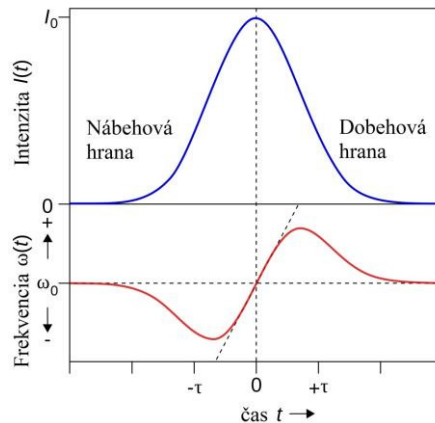
V tomto príspevku je podrobnejšie popísaná technológia EDFA a jej vplyv na generovanie nelineárneho javu SPM. Vplyv EDFA v rôznych konfiguráciách zapojenia je vyšetrený pomocou simulačného nástroja OptSim a výsledky sú vyhodnocované pomocou parametrov BER a Q faktor.

## II. VLASTNÁ FÁZOVÁ MODULÁCIA

Vlastná fázová modulácia (SPM – Self Phase Modulator) je nelineárny jav, ktorý je spôsobený interakciou svetla a látky. Pokiaľ sa svetelný impulz šíri v nelineárnom optickom prostredí, v dôsledku optického Kurovho javu indukuje v optickom prostredí zmenu indexu lomu. To znamená, že fázy prenášaného impulzu je závislá na jeho intenzite. To následne vedie k zmene frekvenčného spektra impulzu. Vplyv SPM na prenášaný signálový impulz je zobrazený na Obr. 1.

Ako možno vidieť z tejto grafickej závislosti, frekvencia signálu má v strede grafu skoro lineárny charakter. Na nábežnej hrane signálu frekvencia klesá a index lomu optického vlákna sa vplyvom nárastu výkonu signálu zvyšuje. Na dobežnej hrane, kedy výkon signálu klesá naopak frekvencia signálu rastie v dôsledku znižovania sa indexu lomu optického vlákna. Zmeny frekvencie prenášaného signálu sa nazývajú frekvenčný „chirping“. Práve takéto zmeny vo frekvencii signálu spôsobujú lineárny jav chromatickej disperzie, vplyvom ktorej sa impulzy prenášaného signálu na výstupe optického vlákna rozšíria v časovej oblasti a spôsobia ich prekrývanie, čo vedie k medzisymbolovej interferencii. Javy SPM a chromatickej disperzie sa vyskytujú v úzkom spojení a sú viac menej od seba závislé. Napríklad v prípade, ak nelineárny jav SPM dominuje v porovnaní s chromatickou disperziou, možno pomocou javu SPM zredukovať prekrývanie impulzov prenášaného optického signálu spôsobeného vplyvom chromatickej disperzie. Prenášaný signál sa javí stabilne, teda nedochádza k prekrývaniam

impulzov v prípade, že vplyv javu chromatickej disperzie je ekvivalentný k vplyvu javu SPM. Na druhú stranu vplyv javu SPM spôsobí moduláciu amplitúdy prenášaného signálu, ak je vplyv chromatickej disperzie v porovnaní s vplyvom SPM zanedbateľný [4-9].



Obr. 1 Vplyv vlastnej fázovej modulácie na signálový impulz

SPM jav je viac výrazný v systémoch s vysokým vysielačím výkonom, pretože "chirping" efekt je úmerný vysielačiemu výkonu signálu. Fáza je vyjadrená vzťahom:

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} nL, \quad (1)$$

v ktorom  $\lambda$  je vlnová dĺžka optického impulzu prenášaného vláknom s indexom lomu  $n$ , a  $L$  je dĺžka optického vlákna. Pre vlákno použité pre vysoký vysielač výkonom, môžu byť  $n$  a  $L$  nahradené  $n_{eff}$  resp.  $L_{eff}$ :

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} n_{eff} L_{eff} \quad (2)$$

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} (n_l + n_{nl}I) L_{eff}, \quad (3)$$

kde pravá strana prvého vzťahu predstavuje lineárnu časť konštantnej fázy ( $\phi_l$ ) a v druhom vzťahu predstavuje nelineárnu časť konštantnej fázy ( $\phi_{nl}$ ) [8].

Ak je intenzita závislá na čase a vlna je časovo modulovaná, potom bude fáza  $\phi$  taktiež závislá na čase. Striedanie fázy v čase spôsobí zmenu vo frekvenčnom spektre, ktoré je dané vzťahom

$$\omega = \frac{d\phi}{dt}. \quad (4)$$

V disperznom prostredí budú zmeny v spektre dočasne meniaceho sa impulzu meniť charakter variácie. Je potrebné brať do úvahy Gaussovský impulz, ktorý moduluje nosnú frekvenciu  $\omega$  a nová okamžitá frekvencia vznikne podľa nasledujúceho vzťahu

$$\omega' = \omega_0 + \frac{d\phi}{dt}. \quad (5)$$

Znamienko fázového posunutia je kvôli SPM záporné, kvôli mínusovému znamienku vo výraze pre fázu, ( $\omega t - kz$ ) t.j.,

$$\phi = -\frac{2\pi}{\lambda} L_{eff} (n_l + n_{nl}I). \quad (6)$$

A preto  $\omega$  je

$$\omega' = \omega_0 - \frac{2\pi}{\lambda} L_{eff} n_{nl} \frac{dI}{dt}. \quad (7)$$

A teda na prednej hrane impulzu  $\frac{dI}{dt} > 0$  je

$$\omega' = \omega_0 - \omega(t) \quad (8)$$

a na zadnej hrane  $\frac{dl}{dt} < 0$  je

$$\omega' = \omega_0 + \omega(t), \quad (9)$$

kde

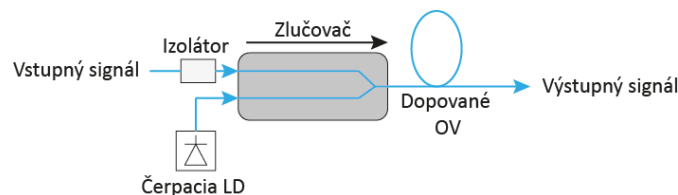
$$\omega(t) = \frac{2\pi}{\lambda} L_{eff} n_{nl} \frac{dl}{dt}. \quad (10)$$

### III. ERBIOM DOPOVANÝ OPTICKÝ VLÁKNOVÝ ZOSILŇOVAČ

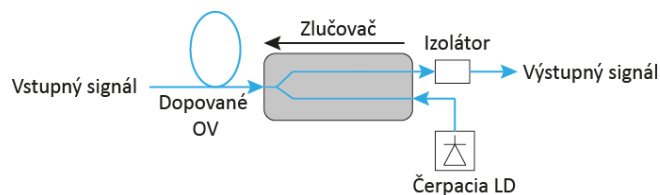
EDFA v základnej konfigurácii pozostáva z erbiom dopovaného vlákna (EDF), ktorého dĺžka môže byť 10 – 30 m, zdroja svetla (napr. laser) a zo zlučovacieho komponentu, ktorý umožňuje zlučovať informačný signál a optický signál čerpaceho zdroja tak, aby bol možný ich simultánny prenos cez EDF. Optický izolátor 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 ( $h_3$  pre 980 nm a  $h_2$  pre 1480 nm).

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. 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. 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.

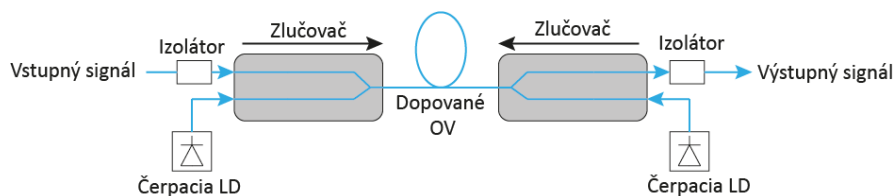
Rozlišujeme 3 konfigurácie zapojenia čerpaceho zdroja: EDFA s dopredným čerpacím zdrojom (Obr. 2), EDFA so spätným čerpacím zdrojom (Obr. 3) a EDFA s dopredným a spätným čerpacím zdrojom (Obr. 4).



Obr. 2 EDFA s dopredným čerpacím zdrojom



Obr. 3 EDFA so spätným čerpacím zdrojom



Obr. 4 EDFA s dopredným a spätným čerpacím zdrojom

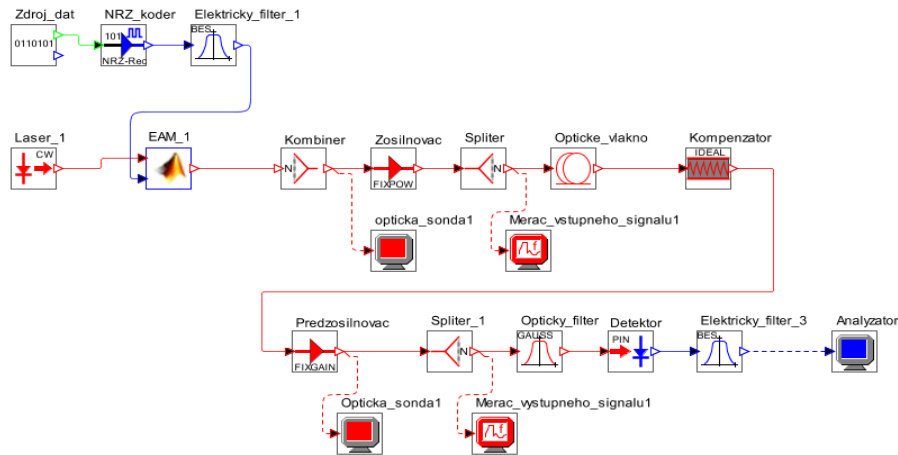
### IV. MODEL WDM SYSTÉMU PRE GENEROVANIE SPM

Pre účely vyšetrenia generovania SPM vo WDM systéme s EDFA bol použitý programový prostriedok OptSim. Vďaka viac než 400 modelov rôznych optických či optoelektronických komponentov sme schopný v programovom prostredí OptSim modelovať akékoľvek topológie či konfigurácie dnes realizovateľných optických sietí. V prostredí OptSim je možné simulovať optické siete s rôznymi typmi čerpacích zdrojov, multiplexorov a demultiplexorov, optických zosilňovačov alebo fotodetektorov. OptSim nám tiež umožňuje použiť rôzne typy optických vlákien s možnosťou voľby disperzných či rozptylových vlastností. Vďaka OptSimu sme



schopný simulovať mnohokanálové WDM optické siete, FSO komunikácie ale aj siete určené pre káblovú televíziu alebo optické lokálne siete LON.

OptSim ponúka možnosť modelovať rôzne nelineárne javy vznikajúce v optických vláknach počnúc SPM. Pre účely vyšetrenia nelineárneho javu SPM bol vyvinutý jednocanálový optický komunikačný systém zobrazený na obr. 5. Tento model pozostáva z vysielačej časti, ktorá obsahuje jednotku generujúcu 10 Gb/s dátový tok. Tento tok je modulovaný NRZ (Non-Return to Zero) (NRZ – Return to Zero) modulátorom a následne je modulovaný na optickú nosnú (193 THz) pomocou elektro-absorpčného optického modulátora (EAM), ktorý bol vytvorený v prostredí Matlab. Prenosová časť je tvorená zosilňovačom EDFA s vlnovou dĺžkou čerpaceho zdroja 1480 nm, ktorého konfigurácia čerpaceho zdroja bude podrobenejšie bližšiemu skúmaniu, jednovidového optického vlákna s dĺžkou 100 km a útlmom 0,2 dB/km, kompenzátorom optickej disperzie a predzosilňovačom. Prijímacia časť je tvorená jednoduchým PIN fotodetektorom.

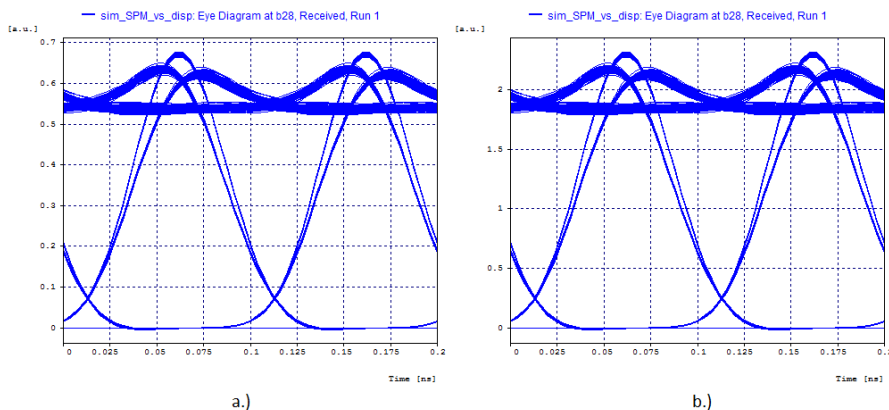


Obr. 5 Model 1-kanálového WDM systému pre modelovanie SPM

### V. PREZENTÁCIA DOSIAHNUTÝCH VÝSLEDKOV

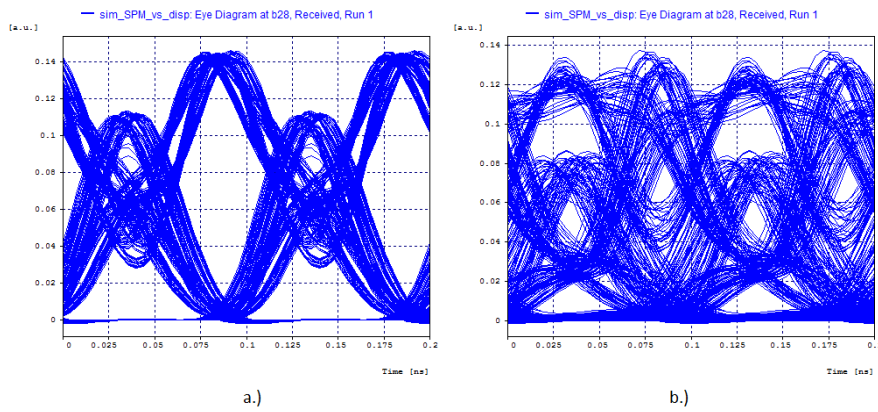
Na vyhodnotenie vplyvu javu SPM v jednocanálovom WDM systéme s EDFA sme využili parameter BER. Pribeh simulácie 1-kanálového WDM systému je nasledovný: V prvom kroku je použitá optická amplitúdová modulácia s NRZ kódovaním. Koeficient nelinearity optického vlákna nastavený na  $5 \text{ W}^{-1}\text{km}^{-1}$  a chromatická disperzia na  $16 \text{ ps/nm/km}$ . Hodnota zosilnenia EDFA sa postupne zvyšuje z 10 dBm až na 30 dBm s použitím dopredného čerpaceho zdroja, spätného čerpaceho zdroja a dopredno-spätného čerpaceho zdroja. V druhom kroku sú vykonané rovnaké simulácie ako v predchádzajúcom kroku, avšak v tomto prípade je vysielač s NRZ kódovaním nahradený vysielačom s RZ kódovaním.

Výsledky sú vyhodnocované pomocou prijatého signálu, ktorý je konvertovaný do elektrickej podoby. Kvalita prenosu je vyhodnotená vizuálne na základe diagramu oka prijatého signálu. Diagram oka je zobrazenie, pomocou ktorého vieme určiť niekoľko parametrov. Dôležitým parametrom je otvorenosť oka a hrúbka čiar. To determinuje hodnotu OSNR (optický pomer signálu k šumu) a BER. Diagramy oka pre NRZ a RZ kódovanie s využitím troch typov čerpaceho zdroja EDFA sú na obr. 6, obr. 7, obr. 8.

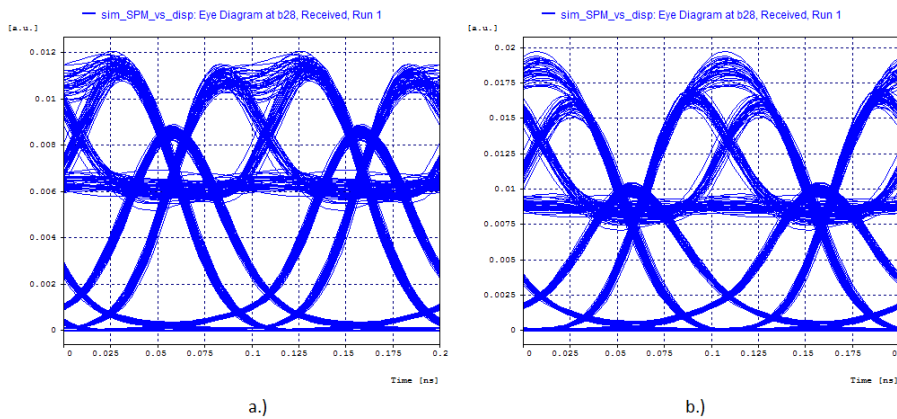


Obr. 6 Diagramy oka pre a.) NRZ kódovanie b.) RZ kódovanie s EDFA s dopredným čerpacím zdrojom pri zosilnení 20 dBm





Obr. 7 Diagramy oka pre a.) NRZ kódovanie a b.) RZ kódovanie s EDFA so spätným čerpacím zdrojom pri zosilnení 20 dBm



Obr. 8 Diagramy oka pre a.) NRZ kódovanie b.) RZ kódovanie s EDFA so dopredno-spätným čerpacím zdrojom 20 dBm

Tab. 1  
 Hodnoty BER simulovaného modelu

| Čerpací zdroj EDFA<br>Zosilnenie (dBm) | NRZ      |           |                 | RZ       |           |                 |
|--|----------|-----------|-----------------|----------|-----------|-----------------|
|  | Dopredný | Spätný    | Dopredný+spätný | Dopredný | Spätný    | Dopredný+spätný |
| 10                                     | 1e-040   | 1,46e-011 | 1,78e-028       | 1e-040   | 1,51e-027 | 1e-040          |
| 15                                     | 1e-040   | 4,11e-011 | 1,06e-012       | 1e-040   | 4,33e-008 | 1e-040          |
| 20                                     | 1e-040   | 2,57e-010 | 4,33e-003       | 1e-040   | 2,15e-004 | 7,11e-008       |
| 25                                     | 1e-040   | 1,28e-008 | 2,27e-002       | 1e-040   | 2,27e-002 | 4,03e-004       |
| 30                                     | 1e-040   | 5,80e-006 | 2,13e-002       | 1e-040   | 2,27e-002 | 1,79e-002       |

## VI. ZÁVER

Vplyv nelineárneho javu SPM sa najvýraznejšie prejavil pri použití spätne čerpaného zosilňovača EDFA. Degradáčne účinky SPM sa so zvyšujúcim zosilnením zvyšovali, čo malo za následok nárast chybovosti BER celého systému. Zo získaných diagramov oka prijatých signálov možno vidieť akým spôsobom ovplyvňuje SPM prenos v danom WDM systéme. V optických komunikáciách, je optická linka považovaná za prijateľnú, keď BER dosiahne hodnotou maximálne 1e-012. Pri porovnávaní na základe BER môžeme zhodnotiť, že použitie dopredného čerpacieho zdroja a dopredno-spätného čerpacieho zdroja je pre WDM systémy najvhodnejšie vzhľadom na reguláciu nelineárneho javu SPM.

## POĎAKOVANIE

Práca na tomto príspevku bola podporená prostriedkami z nasledujúcich výskumných grantov: KEGA 023TUKE-4/2017, VEGA 1/0772/17 a APVV-17-0208.

#### 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] O. Aso, M. Tadakuma, S. Namiki, "Four-Wave Mixing in Optical Fibers and Its Applications", Furukawa Review, No.19, 2000.
- [3] J. Ružbarský, J. Turán, and E. Ovseník, "Different Types of Coding Input Data In Optical Transmission Systems," Carpathian J. Electron. Comput. Eng., vol. 2, pp. 3–6, 2016.
- [4] T. Huszaník, E. Ovseník, and J. Turán, "Performance Analysis of Optical Modulation Formats for 10 Gbit / s DWDM System," Carpathian J. Electron. Comput. Eng., vol. 2, no. 10, pp. 3–8, 2017.
- [5] 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.
- [6] M. Filka, "Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku", Brno, 2009, 1<sup>st</sup> edition, ISBN 978-80-86785-14-1, 369 pp.
- [7] K. Thyagarajan, A. Ghatak, "Fiber Optics Essentials", ISBN 978-0-470-09742-7, 2007, John Wiley & Sons, Inc. Hoboken New Jersey, 239 pp.
- [8] 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.
- [9] 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.

# Estimácia hrúbky steny pomocou UWB radarového systému

*Martin HAVRILLA, Ján GAMEC*

Department of Electronics and Multimedia Communications, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

`martin.havrilla@student.tuke.sk, jan.gamec@tuke.sk`

**Abstrakt** — Tento článok opisuje možnosť estimácie hrúbky steny pomocou UWB radarových systémov. Článok sa zaoberá teoretickými východiskami estimácie, ako aj zberu a spracovaní nameraných dát. V závere príspevku je pozornosť venovaná štatistickému vplyvu vzdialenosti antén na výsledné meranie voči referenčnému meraniu.

**Kľúčové slová** — hrúbka steny, UWB, Hilbertová transformácia

## I. ÚVOD

Hlavným cieľom tohto príspevku je demonštrovať metódu na estimáciu hrúbky steny pomocou UWB radarových systémov. Metóda je založená na zisťovaní oneskorení prechodu transverzálnej elektromagnetickej (TEM) vlny dielektrickým prostredím medzi dvomi rozhraniami, ktoré predstavuje stena vystavená na oboch stranách vzduchu. Prvá časť článku sa venuje teoretickému opisu problematiky estimácie hrúbky steny spolu s metodikou estimácie. Ďalšia časť práce sa venuje funkcii na odhad hrúbky steny v programovom prostredí MATLAB. V závere príspevku je venovaný experimentálnym výsledkom estimácie ako aj štatistickému vyhodnoteniu vplyvu vzdialenosti meracej sústavy od meraného objektu na výslednú estimovanú hrúbku steny.

## II. TEORETICKÉ VÝCHODISKÁ METÓDY ESTIMÁCIE

### A. Estimácia hrúbky steny

Metóda, slúžiaca na estimáciu hrúbky steny, je založená na zistení časového rozdielu, ktorý vznikne pri šírení sa vlny medzi dvomi rozhraniami. Elektromagnetická vlna, ktorá dosiahne priľahlé rozhranie sa čiastočne odrazí a čiastočne prenikne do prostredia steny. Na protiľahlom rozhraní sa taktiež čiastočne odrazí, ale s opačnou fázou ako sa odrazila na priľahlom rozhraní. Vo výslednom prijímanom signáli (označujeme ho ako impulzová odpoveď prostredia) možno postupne sledovať signál odrazený od prvého rozhrania, následne sa objaví na ňom superponovaný signál, ktorý je odrazom od druhého rozhrania atď. Časový rozdiel, ktorý odpovedá časovým okamihom medzi odrazom od priľahlého a protiľahlého rozhrania je časom, ktorý je potrebný aby elektromagnetická vlna prekonala dvakrát hrúbku steny (raz tam a raz späť). Časový interval, potrebný na prekonanie hrúbky steny je možné zistiť buď z obálky odrazeného signálu (impulzovej odpovede) alebo zo skupinového oneskorenia signálu, ktorý prešiel pozorovanou stenou. V prvom prípade je potrebné vytvoriť obálku impulzovej odpovede. To je možné docieľiť využitím Hilbertovej transformácie (HT) a následným aplikovaním absolútnej hodnoty na výsledok HT. Obálka signálu  $O(t)$  je definovaná ako:

$$O(t) = |\mathbb{H}(h(t))|, \quad (1)$$

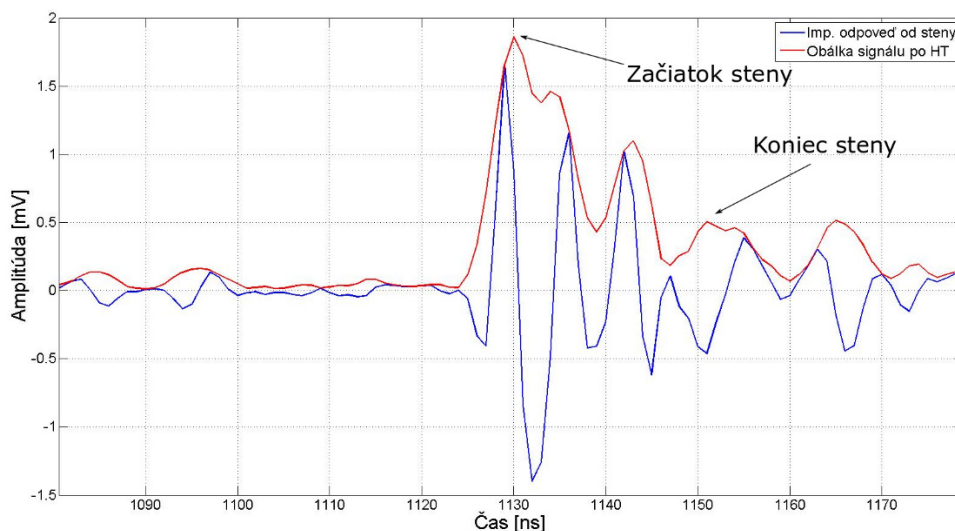
kde  $\mathbb{H}$  je operátor Hilbertovej transformácie,  $h(t)$  reprezentuje zosnímanú impulzovú odpoveď (odrazy od rozhraní) a  $|\cdot|$  znamená operátor absolútnej hodnoty.

Následne sa z časového rozdielu  $\Delta t$ , ktorý sa stanoví z príznakov v obálke signálu a geometrického priemeru frekvenčne závislej relatívnej permitivity steny vypočíta hrúbka steny  $HS$  podľa nasledujúceho vzťahu [1]:

$$HS = \frac{c \cdot \Delta t}{2 \cdot \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

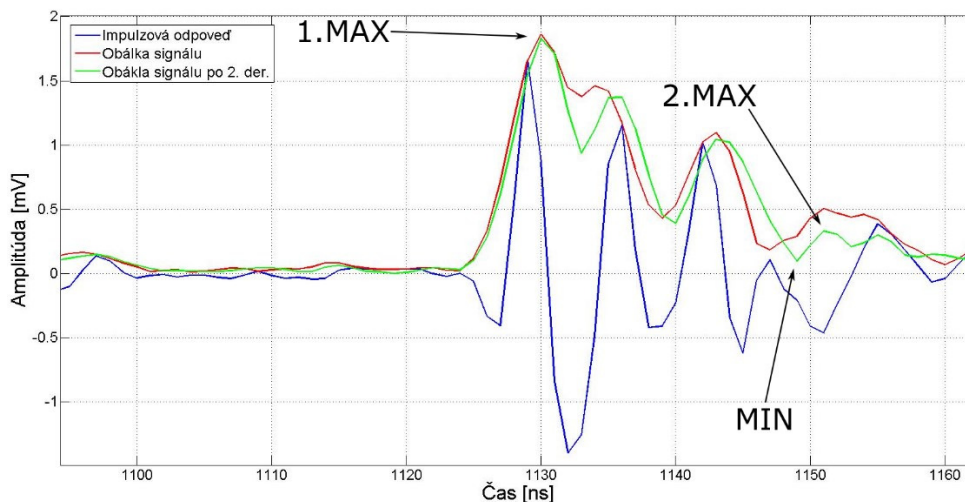
kde  $c$  je rýchlosť šírenia sa elektromagnetickej vlny vo vákuu,  $\Delta t$  je časový rozdiel medzi odrazom od priľahlého a protiľahlého rozhrania steny a  $\varepsilon_r$  je geometrický priemer frekvenčne závislej relatívnej permitivity steny.

Časové rozdiely odrazu transverzálnej elektromagnetickej vlny (TEM) od oboch rozhraní sú znázornené na Obr. 1.



Obr. 1 Obálka spektra po Hilbertovej transformácii

Príznakmi pre stanovenie časovej pozície začiatku a konca steny sú maxima signálu, ktorý sa vypočíta z obálky impulzovej odpovede jej druhou deriváciou. V prípade začiatku steny sa jedná o hľadanie maxima obálky signálu po druhej derivácii obálky. Časová značka konca steny sa určuje pomocou minima obálky spektra a prvého následného maxima. V druhej derivácii obálky sa po minime objaví prvé maximum, ktoré odpovedá miestu odrazu od protiľahlého rozhrania stena-vzduch. Tieto príznaky sú zobrazené na Obr. 2.



Obr. 2 Obálka signálu so znázornením príznakov hľadania začiatku a konca steny

Kde 1. maximum predstavuje začiatok steny, MIN je minimom obálky signálu po druhej derivácii. Toto minimum slúži na nájdenie časovej značky obálky od ktorej sa má hľadať nasledujúce maximum. Toto maximum je označené na Obr. 2 ako 2. MAX a predstavuje koniec steny. Následne sa z oboch maxím získajú časové značky, ktoré sa od seba odčítajú. Týmto nám vznikne parameter  $\Delta t$ , ktorý je neznámou vo vzťahu (2).

#### B. Zjednodušená transmisívna metóda

Táto metóda bude v tomto príspevku slúžiť na získanie referencie hrúbky steny alebo overenie správnosti úvahy o možnosti jednostranného merania hrúbky steny. Je založená na skutočnosti, že TEM vlna sa šíri materiálom rýchlosťou  $v$ . Pričom rýchlosť šírenia TEM v materiáli je ovplyvnená intrinzičnými vlastnosťami materiálu cez, ktorý prechádza[3]. Rýchlosť  $v$  je definovaná ako:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon'_r \mu'_r}} \quad (3)$$

Potom prejdená dráha je:

$$d_s = v\Delta t = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon'_r \mu'_r}} dt. \quad (4)$$

Po úpravách je možné hrúbku steny určiť ako:

$$DS_T = \frac{c\Delta t_T}{\sqrt{\varepsilon'_r - 1}}, \quad (5)$$

Kde  $DS_T$  je hrúbka steny,  $\Delta t_T$  je rozdiel skupinových oneskorení príchodu TEM do prijímacej antény s a bez steny. Parameter  $\varepsilon'_r$  predstavuje geometrický priemer frekvenčne závislej relatívnej permitivity steny.

### C. Metodika zberu dát pre estimáciu hrúbky steny

Cieľom bolo vytvoriť metodiku pre meranie hrúbky steny. Pre tieto potreby bol skonštruovaný posuvný vozík zo stavebnice REXROTH. Metóda zberu dát pre estimáciu hrúbky steny a následné štatistické vyhodnotenie metódy je založená na posune meracieho vozíka po koľajniciach smerom od meraného objektu tak, ako je to znázornené na Obr. 3. Impulzové odpovede je možné snímať v časovej oblasti pomocou UWB radarových systémov pre metódu *Free-space*. Preto je možné metódu estimácie hrúbky steny využívať rovnako pre M-sekvenčný radarový systém ako aj pre impulzový radarový systém[2]. Výsledky v tomto príspevku sú získané pomocou M-sekvenčného radarového systému.



Obr. 3 Meracia sústava pre estimáciu hrúbky steny so smerom posunu

Rovnako ako pri zbere imp. odpovedí bolo nutné realizovať aj merania vzdialenosti od steny pre potreby štatistického vyhodnotenia vplyvu vzdialenosti meracej sústavy od meraného objektu na výslednú hrúbku steny. Pre túto potrebu bol zvolený optický merač vzdialenosti DIMETIX FLS-C10, ktorý bol pomocou sériového rozhrania RS-232 prepojený z prostredím MATLAB[2][4].

## III. TEORETICKÉ VÝCHODISKÁ PRE ČASŤ SPRACOVANIA HODNÔT

### A. Matematický odhad hrúbky steny v prostredí MATLAB

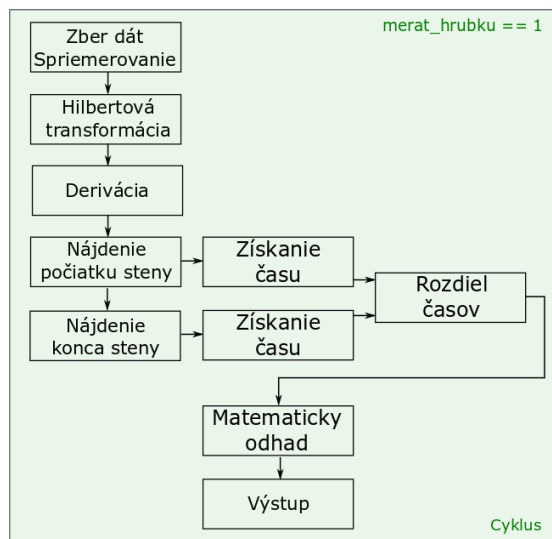
Z dôvodu matematického odhadu hrúbky steny bola v prostredí MATLAB vytvorená funkcia:

- $[hrubka\_steny] = hrukasteny(buffer,merat\_hrubku\_steny,ebm,vz,cas)$ ,

Je možné si všimnúť, že do funkcie vstupujú niektoré premenné. Tieto premenné sú definované nasledovne[2]:

- *buffer* – namerané impulzové odpovede resp. odpoveď,
- *merat\_hrubku\_steny* – premenná slúžiaca sa spustenie estimácie,
- *ebm* – aktuálny odhad geometrického priemeru frekvenčnej závislosti relatívnej permitivity,
- *vz* – impulzová odpoveď prostredia,
- *cas* – časová základňa.

Funkcia pozostáva z troch základných častí. Prvá časť zastrešuje zber dát. Druhá časť pripravuje dáta na spracovanie a posledná tretia časť realizuje matematický odhad hrúbky steny.



Obr. 4 Bloková schéma estimačnej funkcie

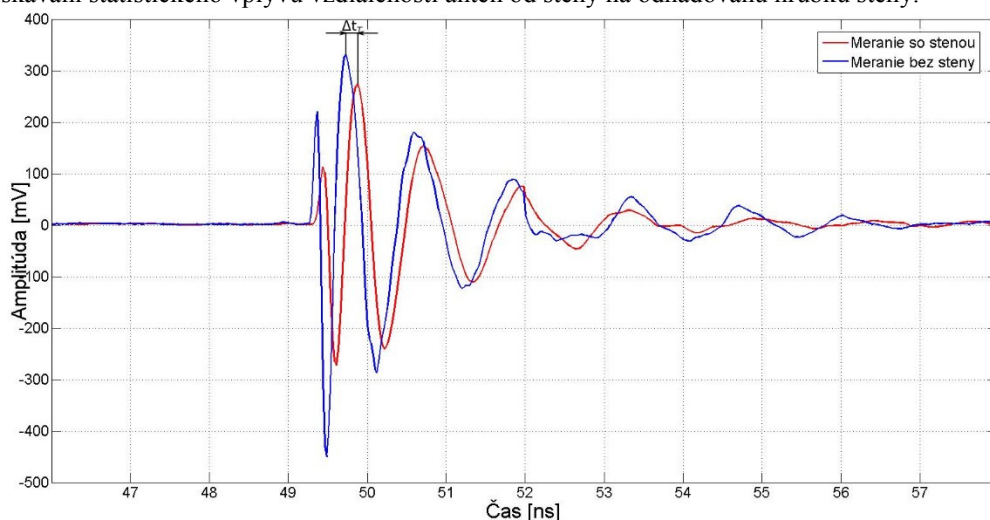
Z blokovej schémy na Obr. 4 vyplýva, že prvým krokom pri estimácii hrúbky steny je zber dát a následne spriemerovanie dát pre prípad, ak sa hrúbka steny má určiť z viacerých imp. odpovedí. Následne sa dáta podrobia procesu Hilbertovej transformácie a absolútnej hodnote, čím sa získa obálka impulzovej odpovede. Neskôr sa aplikuje druhá derivácia na obálku signálu. Z tejto derivovanej obálky sa určuje dvojica parametrov, a to počiatok a koniec steny. Pre prípad počiatku steny je potrebné nájsť časovú značku maxima obálky spektra. V prípade nájdienia konca steny je potrebné nájsť časovú značku minima a nasledujúceho prvého maxima druhej derivácie obálky [2]. Na záver sa zo získaných parametrov získa odhadovaná hrúbka steny v milimetroch.

#### IV. EXPERIMENTÁLNE VÝSLEDKY

##### A. Hrúbka steny estimovaná transmisívnou metódou

Pre štatistické spracovanie bolo potrebné získať referenčnú hodnotu hrúbky steny. Pre tento prípad bola zvolená zjednodušená transmisívna metóda [1][3], pre jej jednoduchosť na realizáciu a presnosť nameraných hodnôt.

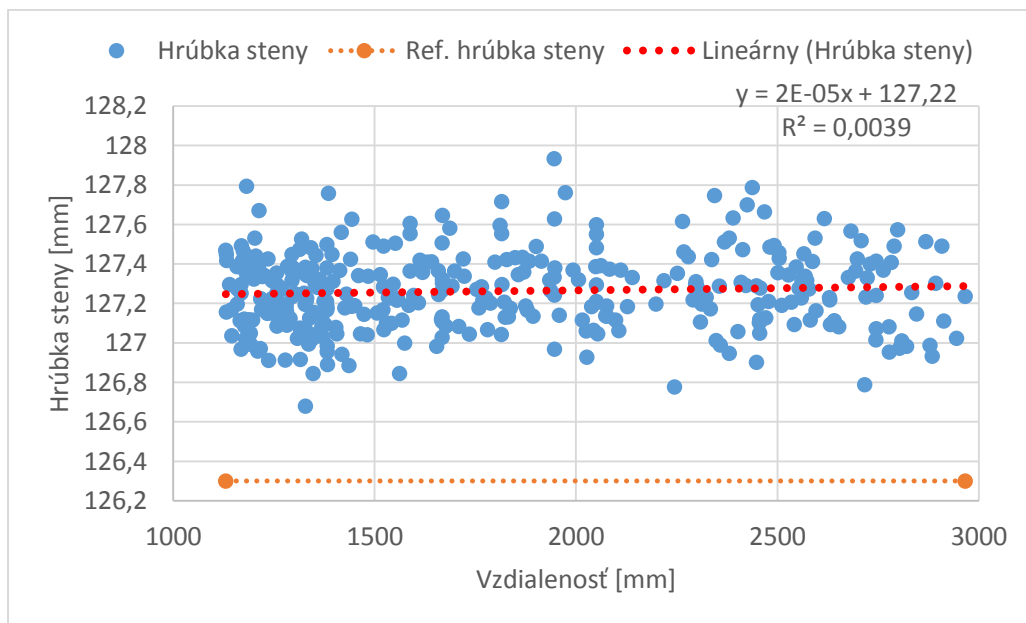
Na Obr. 5 je znázornený odhad hrúbky steny pomocou časového rozdielu prechodu TEM cez stenu (červený priebeh) a bez steny (modrý priebeh). Je možné si všimnúť, že TEM prechádzajúca cez stenu je časovo oneskorená [3]. Preto je možné použiť vzťah (5) na estimáciu hrúbky steny. Hrúbka steny bola 126,3mm. Túto hodnotu je možné použiť ako referenciu pri získavaní štatistického vplyvu vzdialenosti antén od steny na odhadovanú hrúbku steny.



Obr. 5 Estimácia hrúbky steny transmisívnou metódou

##### B. Hrúbka steny estimovaná reflexnou metódou

M-sekvenčným radarom boli získané nasledovné odhadované hodnoty hrúbky steny:



Obr. 6 Odhadnuté hodnoty hrúbky steny

Kde hodnoty označené krúžkom sú namerané hodnoty vzdialenosti, hodnota označená oranžovou prerušovanou čiarou je referenčná hodnota získaná pomocou transmisívnej metódy a červená prerušovaná čiara predstavuje trendovú spojnicu. Pre potreby získania štatistickej závislosti vplyvu vzdialenosti meracej sústavy na výslednú estimáciu hrúbky steny bolo potrebné štatisticky vyhodnotiť meranie.

#### V. ŠTATISTICKÉ ZHODNOTENIE METÓDY NA ESTIMÁCIU HRÚBKY STENY

Štatistické zhodnotenie vplyvu vzdialenosti meracej sústavy na presnosť odhadu hrúbky steny bolo realizované v rozsahu vzdialenosti približne od 1,1m do 3m, kde bolo získaných 380 hodnôt hrúbky steny. Na tieto hodnoty bol voči referenčnej hodnote hrúbky steny aplikovaný lineárny regresný model najmenších štvorcov OLS [5]. Pomocou tohto modelu boli získané štatistické parametre, ktoré sú uvedené rovnicou (6) s hodnotou spoľahlivosti  $R^2$ .

$$y = 2 \cdot 10^{-5}x + 127,22; R^2 = 0,0039, \quad (6)$$

Na základe uvedených parametrov OLS modelu je možné konštatovať, že vplyv vzdialenosti meracej sústavy na odhad hrúbky steny nie je štatisticky významný.

#### VI. ZÁVER

Tento článok opisoval jednoduchý spôsob estimácie hrúbky steny z impulzovej odpovede získanej za pomoci UWB radarového systému. Výsledkom je metóda určujúca hrúbku steny z obálky nameraného signálu. Pre spracovanie údajov bola vytvorená funkcia v programovom prostredí MATLAB slúžiaca na autonómnou estimáciu hrúbky steny z nameraných dát. Funkcia je súčasťou balíka grafického užívateľského rozhrania pre UWB meranie dielektrických vlastností materiálov[2], je možné ju využívať priamo z grafického rozhrania, alebo samostatne podľa potreby užívateľa.

Článok sa ďalej venoval aj štatistickému zhodnoteniu vplyvu vzdialenosti meracej sústavy na výslednú závislosť hrúbky steny od vzdialenosti. Štatistické vyhodnocovanie bolo realizované za pomoci regresného modelu najmenších štvorcov OLS v prostredí GRETL, pričom výsledkom metódy OLS bolo, že vzdialenosť meracej sústavy od meraného objektu má štatisticky významný vplyv. Referenčným meraním transmisívnou metódou bola zistená hrúbka steny 126,3mm. Odhadnutá hrúbka steny bola v priemere na vzdialenosti od 1,1m do 3,3 hodnotu 127,221mm so strednou kvadratickou odchýlkou 15,99mm<sup>2</sup>.

#### ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] REPKO, Miroslav, *Analýza dielektrických vlastností materiálov pomocou UWB radaru*, Dizertačná práca, Technická univerzita v Košiciach, 2019
- [2] HAVRILLA, Martin, *Grafické užívateľské rozhranie pre UWB meranie dielektrických vlastností materiálov*, Diplomová práca, Technická univerzita v Košiciach, 2019
- [3] M. Repko, J. Gamec. J. Schneider "Jednoduchý odhad relatívnej permitivity steny pomocou UWB radarového systému" Košice 2015
- [4] DIMETIX, *Distance Laser Sensor, Technical Reference Manual*, Dimetix AG, 2017
- [5] GELADI, Paul; KOWALSKI, Bruce R. Partial least-squares regression: a tutorial. *Analytica chimica acta*, 1986, 185: 1-17.



# Využitie technológií zmiešanej reality v priemyselnom prostredí

<sup>1</sup>Branislav SOBOTA, <sup>2</sup>Štefan KOREČKO, <sup>3</sup>Lubomír Daniel FEDOR, <sup>4</sup>Marián HUDÁK, <sup>5</sup>Martin SIVÝ

<sup>1,2,3,4,5</sup> Katedra počítačov a informatiky, Fakulta Elektrotechniky a Informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>branislav.sobota@tuke.sk

**Abstrakt** — Článok sa zaoberá využitím technológií zmiešanej reality v priemyselnom prostredí. Nasadením tejto technológie sa nie len uľahčí práca príslušných pracovníkov, ale navyše je možné využiť túto technológiu pre sledovanie a prípadné následné testovanie a vyhodnocovanie kognitívnych schopností týchto pracovníkov. Takto je možné aj vyhodnocovať ich prácu a nasadenie na príslušnú pracovnú pozíciu. Hlavnou náplňou, prvou etapou, opisovanej práce bolo nájsť spôsob, ako prostredníctvom zmiešanej reality zjednodušiť a zefektívniť prácu technikov vykonávajúcich údržbu a opravy. Druhou etapou bolo sledovanie ich kognitívnych schopností pri danej činnosti. Keďže táto časť je stále vo vývoji, obsahom tohto článku je opis hlavne prvej etapy. Programovým výstupom bol prototyp aplikácie, ktorú je možné pri údržbe použiť.

**KLúčové slová** — zmiešaná realita, priemyselné prostredie, kognitívne správanie, mobilné technológie

## I. ÚVOD

Zmiešaná realita [1] je v dnešnej dobe veľmi rýchlo rastúce odvetvie informačných technológií. Na trhu existuje mnoho spoločností so svojím vlastným hardvérovým a softvérovým riešením. Ide o aplikácie od jednoduchých pre mobilné platformy až po kompletné riešenia ako napríklad Microsoft HoloLens, ktorý v jednom samostatnom zariadení kombinuje výpočtovú aj zobrazovaciu jednotku vo forme okuliarov pre rozšírenú realitu. Laboratórium LIRKIS pri KPI FEI TU v Košiciach disponuje takýmto zariadením. Z hľadiska VR technológií patrí laboratórium LIRKIS k najmodernejším v Slovenskej republike. Z mnohých dostupných technológií umožňuje napríklad 2D a 3D vizualizáciu, komunikáciu pomocou rozpoznávania obrazu, komunikáciu pomocou dátovej rukavice alebo EMG senzorov. Okrem 3D vizualizácie ponúka aj veľkoplošné zobrazovanie, vrátane dotykovej interakcie a použitia dátových prilieb. Nasadenie mnohých technológií a zariadení z tejto oblasti vrátane MS Hololens do priemyselnej praxe je však zatiaľ problematické. Preto sa mnohé aplikácie orientujú na použitie mobilných zariadení. Jedným z odvetví, v ktorých rozšírená realita začína nachádzať uplatnenie, je aj podpora pri údržbe zariadení v priemyselnej sfére [2]. Navyše je možné nasadením tejto technológie nie len uľahčiť prácu príslušným pracovníkom, ale navyše je možné využiť túto technológiu pre sledovanie a prípadne následné testovanie a vyhodnocovanie kognitívnych schopností týchto pracovníkov. Tak je možné vyhodnocovať ich prácu a nasadenie na príslušnú pracovnú pozíciu. Z konceptuálneho pohľadu budú raz môcť prístroje na báze virtuálno-reálnych technológií bez problémov rozšíriť kognitívne schopnosti človeka napr. vnímanie a usudzovanie, ovplyvňovať jeho akcie v reálnom ako aj vo virtuálnom či kombinovanom svete [3]. Tieto svety umožnia nielen sledovať ľudí počas vykonávania úloh, poskytovať im podporu splňaním ich požiadaviek, ale aj ovplyvňovať a meniť ich plány a zámery. Veď už v priebehu posledných rokov sa výrazne posunul aj potenciál virtuálno-reálnych systémov ako po stránke hardvérovej, tak po stránke softvérovej čím sa možnosti kognitívneho testovania výrazne posunuli na vyššiu úroveň.

Hlavnou náplňou, prvou etapou, opisovanej práce bolo nájsť spôsob, ako prostredníctvom zmiešanej reality zjednodušiť a zefektívniť prácu technikov vykonávajúcich údržbu a opravy. Druhou etapou je sledovanie ich kognitívnych schopností pri danej činnosti. Keďže táto časť je stále vo vývoji, obsahom tohto článku bude opis hlavne prvej etapy. Programovým výstupom bol prototyp aplikácie, ktorú je možné pri údržbe použiť. Jej vytvoreniu predchádzal prieskum dostupných riešení pre implementáciu zmiešanej reality, z ktorých bolo následne vybrané to najvhodnejšie k efektívnemu vytvoreniu modelového prototypu aplikácie na báze najmä rozšírenej reality ako technológie zmiešanej reality.



Námet práce bol založený na reálnej požiadavke reálnej spoločnosti. Z tohto dôvodu bola aj aplikácia navrhnutá ako produkt, ktorý by skutočne bolo možné dokončiť. Toto ukotvenie v realite so sebou prináša celý rad vlastných špecifik, ktoré je nutné zohľadňovať od fázy hrubého návrhu až po finálnu implementáciu a ktoré budú v ďalšom texte zmienené.

## II. ANALÝZA A NÁVRH SYSTÉMU

### A. Profil používateľov a požiadavky

Než sa vôbec pristúpi k návrhu, je nutné ujasniť si, pre koho je finálny produkt určený. V tomto prípade je modelovým zákazníkom stredne veľká tuzemská spoločnosť, ktorá sa snaží zefektívniť proces údržby s cieľom ušetriť finančné aj ľudské zdroje. Hlavným problémom predstavuje neskúsenosť junior technikov s údržbou a opravami priemyselných zariadení vo firme, ako aj rozmanitosť týchto zariadení. Ak technici riešia na zariadení konkrétny problém prvý raz alebo po dlhšej dobe, často strácajú čas hľadaním manuálov a návodov k zariadeniu, prípadne využívajú pomoc starších technikov. Tých je ale v porovnaní s juniormi iba malý počet a ich čas je teda veľmi vzácny. Riaditeľ požaduje efektívne riešenie tohto problému a je ochotný investovať isté zdroje do modernizácie celého procesu za predpokladu, že bude presvedčený návratnosti investície v budúcnosti. V tomto smere je aj zaujímavé sledovať kognitívne postupy využívané pri riešení daných problémov vrátane postupov pri prijímaní nových pracovníkov [4].

Vzhľadom k charakteru spoločnosti, je možné predpokladať, že investovaná čiastka nebude veľká a cenu riešenia je teda nutné stlačiť maximálne nadol. To vyžaduje takú voľbu technológií, ktorá bude v prípade potreby ľahko prenositeľná na rôzne platformy a jednoducho rozširiteľná o ďalšie požadované funkcionality. Aj z pohľadu dodávateľa je nutné uvažovať o obmedzeniach ľudských zdrojov – čím jednoduchšie a všeobecnejšie programátorské postupy a techniky budú využité, tým viac zamestnancov je možné na projekt vyčleniť. Takisto hrozí, že finálny produkt sa potenciálne oneskorí a značne predraží a zákazník vôbec nemusí byť ochotný požadovanú sumu zaplatiť.

Tiež je nutné zvážiť, čo všetko vlastne zákazník potrebuje. Jednoduchým riešením podľa zadania práce by bolo jednoducho vyrobiť aplikáciu, pomocou ktorej sa môžu dvaja technici na diaľku spojiť a riešiť problém na konkrétnom zariadení. Takéto jednoduché aplikácie pre vzdialenú podporu v zmiešanej realite v súčasnosti aj naozaj vznikajú. Je potrebné ale myslieť na to, že dodávaná aplikácia nebude existovať v nejakom vákuu sama o sebe, ale bude zavedená v už fungujúcom prostredí, ktoré zrejme má aj vlastný podnikový informačný systém a bude sa očakávať, že aplikácia s ním bude schopná komunikovať.

Taktiež je potrebné určiť, kde presne leží jadro problému, ktorý sa má riešiť. V tomto prípade ide o pomalý prístup k informáciám o postupoch údržby. Kontaktovať senior technika je len jeden zo spôsobov, ako tento problém riešiť; pritom dokonca nemusí ísť ani o spôsob najlepší. Rovnako môže pomôcť centralizovanie databázy návodov a manuálov a ich priradenie jednotlivým zariadeniam. Aj tu je možné využiť rozšírenú realitu, a síce prerobením niektorých návodov na sériu krokov práve v rozšírenej realite. Starší technici sa dajú navyše odbremeniť zdieľaním ich poznatkov vo forme komentárov, ktoré môžu k jednotlivým zariadeniam a návodom pridávať a tak upozorňovať ostatných o špecifikách zariadení a opráv na nich vykonávaných.

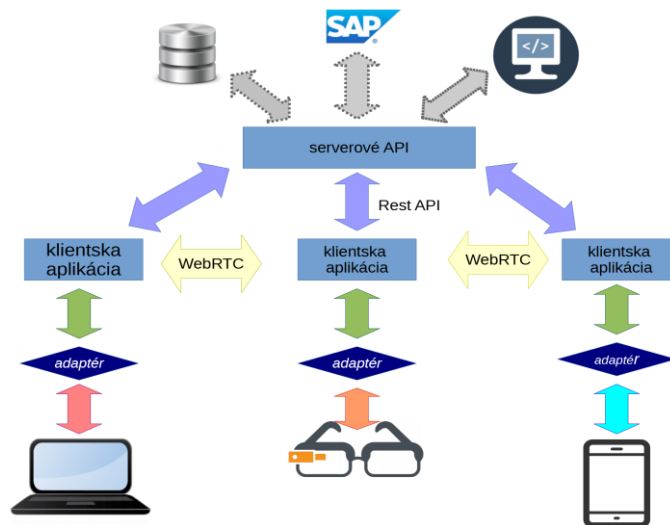
Akonáhle má softvér slúžiť pri údržbe, je vhodné, aby vedel zobraziť informácie o plánovaných údržbách, ktoré má technik vykonať (Obr. 4a). A ak už sú k dispozícii informácie o údržbách, bola by vhodná možnosť vedieť vyplňať aj výkazy o ukončení údržby priamo pomocou aplikácie. Fakt, že mnoho zobrazovaných informácií je už možno uchovávaných v prevádzkovanom informačnom systéme, nabáda k použitiu klient-server architektúry. Zároveň je ale potrebné mať na pamäti, že aplikácia sa bude používať aj na miestach, kde spojenie so serverom nebude dostupné; napríklad pri pracovných výjazdoch mimo areál firmy. Aplikácia teda musí implementovať aj istý systém zapamätávania si prijatých údajov a byť schopná off-line prevádzky.

Takto postavený softvér je organickejšie integrovateľný do technologických postupov v spoločnosti a má tak väčšiu šancu byť schválený vedením. Je navyše pravdepodobné, že zmienené funkcionality by boli aj tak zákazníkom požadované, ich neskoršia implementácia by ale bola náročnejšia. Celkovú navrhovanú schematickú koncepciu systému vrátane ešte neimplementovaných častí zobrazuje obrázok Obr. 1.

Hlavné požiadavky zákazníka na funkcie aplikácie teda môžeme definovať takto:

- zobrazenie zoznamu údržieb pridelených konkrétnemu technikovi,
- zobrazenie podrobností o zariadeniach určených na údržbu vrátane prístupu k návodom a manuálom,

- vyplnenie výkazu po ukončenej údržbe,
- rozpoznanie zariadenia, na ktorom sa bude vykonávať údržba,
- spustenie návodu v rozšírenej realite,
- schopnosť off-line prevádzky,
- možnosť spolupráce na údržbe s využitím rozšírenej reality a to aj vzdialene.



Obr. 1 Celková navrhovaná schematická koncepcia systému

### B. Výber použitých technológií

Aj z pohľadu dodávateľa je nutné brať do úvahy rad obmedzení. Cena vývoja musí byť čo najnižšia, čo môže riešiť použitie už existujúcich technológií. Ich voľba musí brať ohľad na to, že výsledná aplikácia môže byť prevádzkovaná na rozmanitých zariadeniach a jej časti môžu byť počas jej životného cyklu rozširované, vylepšované, prípadne dokonca vymieňané za iné.

Prvým krokom pri výbere je určenie cieľovej platformy. Ideálnym kandidátom sú mobilné zariadenia, špecificky inteligentné telefóny, tablety a prípadne inteligentné okuliare. Zatiaľčo prvé dve sú bežne dostupné, inteligentné okuliare môžu pre klienta predstavovať výraznú finančnú investíciu. Na druhej strane trh s týmito perifériami sa ešte len rozbieha a je možné, že v budúcnosti sa aj ony stanú zaujímavé. Preto je potrebné pri výbere technológií myslieť do budúcnosti aj na ich podporu a už teraz si urobiť prieskum momentálne dostupných riešení.

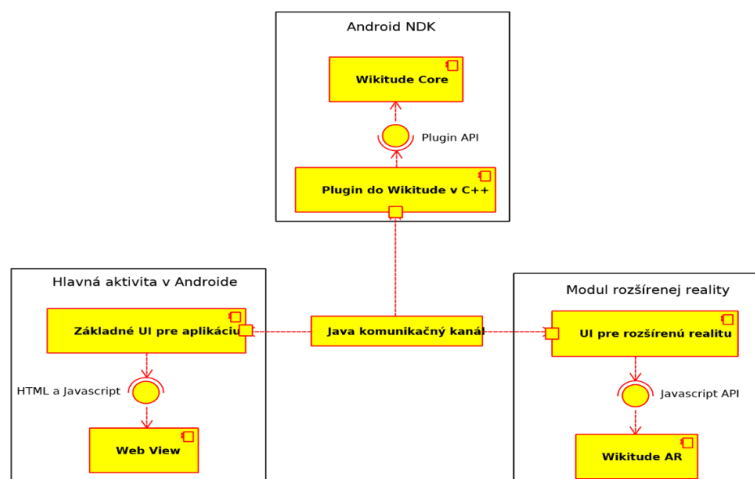
Na začiatku je dobré vybrať kľúčový externý komponent, a síce knižnicu pre rozšírenú realitu. Pomerne využívanými knižnicami v tejto oblasti sú ARKit [5] (platforma iOS, <https://developer.apple.com/arkit/>) a ARCore [6] (ekvivalent ARKit, platforma Android, <https://developers.google.com/ar/discover/>). V dobe, keď sa začala vďaka zariadeniam ako Oculus Rift či HTC Vive rozširovať virtuálna realita, prišla snaha spoločností Google a Mozilla vytvoriť jednotné rozhranie pre VR vo webových prehliadačoch. Zlúčená technológia je nazývaná WebXR [7] [8] (<https://immersive-web.github.io/webxr/>).

Najväčšími kandidátmi sú veľké softvérové platformy určené pre vývoj AR aplikácií a to Vuforia (<https://www.vuforia.com/>), Wikitude SDK (<https://www.wikitude.com/>) a UNITY (<https://unity.com/>). Najmä Vuforia a Wikitude podporujú značkovú aj bezznačkovú rozšírenú realitu, rozpoznávanie 2D obrazov, 3D objektov aj mapovanie priestoru okolo používateľa v reálnom čase (SLAM). Oba navyše dokážu interne využiť funkcionality ako ARKitu, tak ARCore. Medzi podporovanými zariadeniami sú mobilné telefóny aj AR okuliare od spoločností ODGR-7, Epson, Vuzix a u Vuforie a Unity aj Microsoft (Hololens).

Wikitude pred konkurentmi vyniká predovšetkým prepojením so širokou škálou platformami, na ktoré je možné výsledný produkt cieľiť. Okrem natívneho rozhrania pre Android SDK a iOS SDK ponúka aj možnosť programovať pre tieto systémy aj v Javascripte, a to aj s využitím zásuvných modulov do populárnych multiplatformových SDK Cordova, Titanium a Ionic (neoficiálny modul). Pre vývojárov programujúcich v C# existuje aj oficiálny komponent pre Xamarin a Wikitude poskytuje zásuvný modul aj do Unity. Vuforia v porovnaní s ňou ponúka značne menšiu variabilitu, a síce javu, C++ a zásuvný modul pre Unity. Výslednou voľbou bola Wikitude SDK, keďže má najširšiu podporu programovacích nástrojov a je schopná behu na najširšom počte zariadení.

Z rôznych variantov Wikitude SDK, bola vybraná tá, ktorá poskytuje Javascript API. Použitie Javascriptu a spolu s ním HTML je z hľadiska prenositeľnosti kľúčové. Používateľské rozhranie aplikácie môže byť tým pádom izolované do svojich vlastných, platformovo nezávislých modulov. Javascriptový kód je navyše jednoducho modifikovateľný a laditeľný a tento jazyk je i dostatočne rozšírený, aby pre dodávateľa nebol problém zabezpečiť zamestnancov, ktorí v ňom vedú programovať. Prostredie pre beh Javascript kódu na iOS aj Android zabezpečuje komponent Webview. Využitie Webview v systémoch iOS a Android takto umožňuje mať väčšinu aplikácie na rovnakej kódovej báze. Istá nevelká časť kódu však i tak nutne musí byť natívna. Ide o základnú obsluhu štartu aplikácie a aj o preposielanie video streamu z kamery jedného zariadenia druhému kvôli vzdialenej podpore. Tu sa síce používa WebRTC, ktoré je vo Webview dostupné, avšak kvôli Wikitude SDK nie je možné využiť prístup ku kamere z Webview. V tomto prípade je nutné ísť až na spodnú vrstvu do C++ kódu. Schématické zobrazenie riešenia aplikácie na obrázku Obr. 2.

Samotná komunikácia dvoch zariadení pri vzdialenej podpore v rozšírenej realite sa rieši prenášaním osobitne videa/audia z telefónu a osobitne prenášaním inštrukcií pre vytvorenie/modifikáciu používateľských značiek. Wikitude si na oboch zariadeniach kombinuje výsledný augmentovaný obraz osobitne. Pre nadviazanie spojenia je síce nutný tzv. signálový server, avšak následne sa dáta prenášajú už priamo medzi oboma aplikáciami. Tento spôsob komunikácie výrazne šetrí dátový tok, keďže sa prenášajú iba zmeny v scéne rozšírenej reality.



Obr. 2 Schématické zobrazenie riešenia aplikácie

### III. IMPLEMENTÁCIA SYSTÉMU

#### A. Rozpoznanie zariadení

Aby dokázala Wikitude SDK interne vytvoriť scénu pre rozšírenú realitu a táto scéna bola navyše perzistentná a totožná medzi viacerými spolupracujúcimi inštanciami aplikácie, je nutné vedieť jednoznačne identifikovať zariadenie, na ktorom sa má vykonávať údržba a ukotviť sústavu súradníc vždy na rovnaké miesto v reálnom svete.

Pre rozpoznanie zariadenia sa dá použiť viacero spôsobov. Je možné oprieť sa o RFID čipy na zariadení, jeho GPS súradnice alebo ho rozpoznať na základe dopredu vytvoreného 3D modelu. Avšak v reálnom nasadení má každý zo zmienovaných prístupov svoje nevýhody. Zdroj RFID signálu sa nedá lokalizovať s dostatočnou presnosťou, GPS zasa nemusí byť dostupné a dostatočne presné. 3D model síce znie ako najlepšie riešenie, avšak bolo by potrebné zamestnať niekoho, kto 3D modely zariadení vytvorí a bude spravovať, čo sú opäťovne náklady navyše. Wikitude síce ponúka možnosť automaticky vytvoriť model z natočeného videa so zariadením, zariadenie ale musí byť dostatočne zreteľne odlišiteľné od pozadia (najlepšie jednofarebného) a počas natáčania aj kvalitne nasvietené. V opačnom prípade sú výsledky neuspokojivej kvality.

Ako najlepší spôsob sa teda ukázal prakticky ten najstarší a najjednoduchší: rozpoznanie značky (markera) v obraze. Značkou môže byť prakticky akýkoľvek dostatočne kontrastný obrázok, napríklad aj skladové alebo sériové číslo nalepené na zariadení. Wikitude SDK po rozpoznaní značky na ňu umiestni stred súradnicovej sústavy a jednotlivé virtuálne objekty majú súradnice relatívne k nemu. Wikitude navyše pokračuje v snímaní okolia a rozpoznávaní významových bodov, aby si scénu dokázala udržať aj potom, čo značka zmizne zo záberu kamery. Akonáhle ale dôjde k strate nadväznosti a následnému zrušeniu scény, musí sa znova

kamera zamerat' na značku a rozpoznať ju. Obnovená scéna si ale pamätá poslednú pozíciu objektov v nej.

Spolahlivosť, s akou dokáže Wikitude rozpoznať okolie značky a „držať“ scénu silne závisí od výkonu zariadenia, na ktorom je aplikácia spustená. Najlepšie výsledky by mali dosahovať mobilné zariadenia s podporou pre ARKit resp. ARCore, ktoré Wikitude SDK dokáže využiť. S mobilným telefónom prípadne tabletom bez tejto podpory je aplikácia citlivá na prudšie pohyby a scénu ľahko stratí.

### B. Tvorba a vykresľovanie scény

Používatelia môžu do scény zakresľovať vlastné objekty vo forme dvojrozmerných kresieb. Tie sa v reálnom čase synchronizujú medzi zariadeniami pripojenými k rovnakej scéne. Vzhľadom k povahe aplikácie boli ako východzie zvolené jednoduché primitíva (kruh, obdĺžnik, úsečka), šípka, text a kresba „voľnou rukou“ (interne reprezentovaná ako súbor úsečiek). Tieto majú výhodu v jednoduchej analytickej reprezentácii, ktorá umožňuje preposielať minimum dát pri synchronizácii medzi rôznymi používateľmi.

Opäťovne sa navyše využívajú webové technológie, keďže každá takáto používateľská značka je v scéne reprezentovaná ako HTML canvas, v ktorom je niečo nakreslené. To navyše umožňuje kresby v scéne jednoducho presúvať, keďže sa vlastne takto presúva rovno celý canvas element. Príklad takéhoto zobrazenia systému v prostredí zmiešanej reality mobilného zariadenia je uvedené na obrázku Obr. 3.



Obr. 3 Zobrazenie systému v prostredí zmiešanej reality mobilného zariadenia

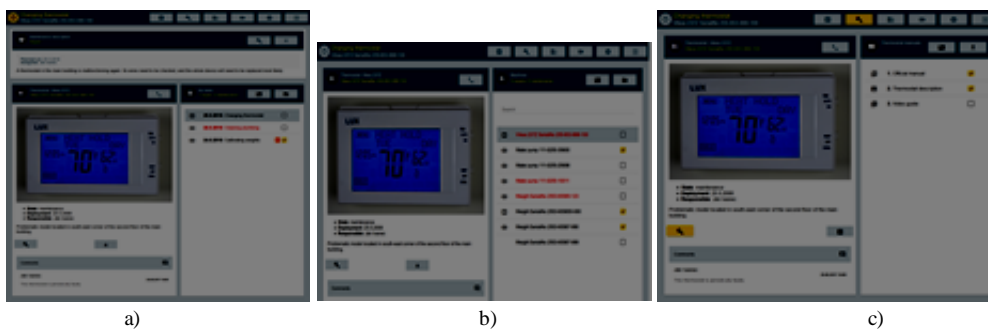
### C. Serverová časť - backend

Dosiaľ bola opisovaná len klientská aplikácia, keďže jej funkcionality a štruktúra sú jasne dané. Systém však potrebuje získavať aj informácie o údržbách, zariadeniach, zamestnancoch a podobne. Architektúra serverovej časti však silne závisí od stávajúcej infraštruktúry firmy a môže sa medzi jednotlivými zákazníkmi výrazne líšiť. Riešením je zadefinovať jednoznačné API, cez ktoré aplikácia bude so serverovou stranou komunikovať. Toto API musí byť jasné a jednoduché, aby jeho implementácia mohla byť čo najmenej závislá na prostredí, v ktorom bude naprogramované.

Za týmto účelom bola teda definovaná štruktúra dátových entít a vzťahov medzi nimi. Možno si ju predstaviť ako tabuľky v relačnej databáze. Jedna tabuľka uchováva záznamy o údržbách, ďalšia o manuáloch, iná o zamestnancoch atď. Je ale dôležité mať na pamäti, že predložená schéma je vyložené orientačná a nezáväzná. Server vôbec nemusí dáta uchovávať v entitno-relačnej databáze; on ich dokonca nemusí uchovávať vôbec a iba ich zbierať z podnikových informačných systémov a dynamicky transformovať do požadovaného tvaru. Navyše programovanie serverovej časti si môže zákazník kvôli internej politike obstarat' využitím služieb vlastného IT oddelenia. Model teda slúži skôr ako mapa k tomu, ako chápe väzby medzi dátami samotná klientska aplikácia. Tá sa prostredníctvom API dopytuje priamo na záznamy v jednotlivých „tabuľkách“ podľa mena a id záznamu. Formu id má pri tom v moci sám server; môže ísť o klasický číselný identifikátor, ale aj akýkoľvek unikátny reťazec, ktorý záznam jednoznačne identifikuje.

Takto jednoducho navrhnuté API umožňuje ľahké rozšírenie o prípadné ďalšie funkcionality. Serveru je navyše prenechaná možnosť rozhodovať o tom, ku ktorým dátam má mať ktorý používateľ prístup a cez špeciálny parameter v odpovedi dokonca umožňuje okrem vyžiadaného záznamu zaslať aj ďalšie podľa toho, ako server uváži. Systém si všetky tieto dáta inteme zapamätá a vie ich zobrazit' aj v prípade nedostupnosti servera. Toto sa môže využiť ak server na základe internej logiky vie, že používateľ má naplánovaný výjazd mimo dosah podnikovej

siete. Môže teda automaticky zaslať aplikácii nielen dopytované dáta, ale kompletne všetky, ktoré bude technik na výjazde potrebovať t.j. napríklad všetky manuály, návody a poznámky k nim (niektoré príklady sú uvedené na Obr. 4).



Obr. 4 Ukážky a) priradenia údržby, b) zoznamu zariadení a c) manuálov k zariadeniu v aplikácii

#### IV. ZÁVER

Nakoľko sa odvetvie rozšírenej reality neustále dynamicky mení, bude aj tento systém ešte nejaký čas v štádiu vývoja. Hlavným dôvodom je nízka robustnosť udržania scény pri majorite bežne dostupných mobilných zariadení. Túto skutočnosť konštatuje aj Ricardo Palmarini [2], autor viacerých článkov a štúdií zaoberajúcich sa využitím rozšírenej reality v údržbe. Pre reálne nasadenie bude nutné počkať odhadom aspoň rok, kým hlavne hardvér dobehne už existujúce softvérové riešenia. Do tej doby je možné experimentovať s vývojom systému vo viacerých smeroch, z ktorých tie najzaujímavejšie sú použitie viac než jedného markera pre rozpoznanie zariadenia, pridanie podpory pre nové dátové prilby (napr. MS Hololens), zobrazenie dynamických informácií o zariadeniach v scéne a vytvorenie výukového módu pre nových zamestnancov vrátane možnosti snímania kognitívnych schopností zamestnanca.

Tak, ako sa technológie zmiešanej reality stále vyvíjajú, nie je ani vývoj tohto projektu na svojom konci. V predošlom odstavci bolo naznačených niekoľko smerov, ktorými by sa mohol ďalej uberať. Pokiaľ ide o nasadenie v priemyselnom prostredí, stojí za to zvážiť, či ešte nejaký čas nepočkať. Minimálne kým sa podpora pre zmiešanú realitu dostane na viacero zariadení na trhu a kým bude uvedených viac inteligentných dátových prilieb s priaznivými cenami.

#### POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol s podporou grantovej agentúry na podporu výskumu a vývoja v rámci projektu APVV-16-0202 „Vylepšovanie kognície a motorickej rehabilitácie s využitím zmiešanej reality“.

#### POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] SOBOTA, Branislav; HROZEK, František: Systémy Virtuálnej Reality. Košice TU FEI, 2015. ISBN: 978-80-553-1970-4
- [2] PALMARINI, Riccardo a kol.: A systematic review of augmented reality applications in maintenance. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol 49, pp 215–228, 2018.
- [3] Ricci A. et al. (2015). The Mirror World: Preparing for Mixed-Reality Living. *Pervasive Computing*, April 2015, 60-63.
- [4] VELOSA, Jose Divitt a kol.: Methodological Proposal for Use of Virtual Reality VR and Augmented Reality AR in the Formation of Professional Skills in Industrial Maintenance and Industrial Safety. *Online Engineering & Internet of Things. Lecture Notes in Networks and Systems*, Vol 22, pp 987-1000, 2018.
- [5] Apple: iOS Device Compatibility Reference [online]. Publikované 30-10-2017 [cit 19-04-2019]. Dostupné na internete: <<https://developer.apple.com/library/content/documentation/DeviceInformation/Reference/iOSDeviceCompatibility/DeviceCompatibilityMatrix/DeviceCompatibilityMatrix.html>>
- [6] Google: ARCore Overview [online]. Publikované 23-02-2018 [cit 21-03-2019]. Dostupné na internete: <<https://developers.google.com/ar/discover/>>
- [7] DAVENPORT, Corbin: WebVR is now 'WebXR Device API', supports augmented reality [online]. Publikované 04-02-2018 [cit 22-03-2019]. Dostupné na internete: <<https://www.androidpolice.com/2018/02/04/webvr-now-webxr-device-api-supports-augmented-reality/>>
- [8] COLDEWEY, Devin: Mozilla proposes combined WebXR standard for virtual and mixed reality in the browser [online]. Publikované 21-10-2017 [cit 22-03-2019]. Dostupné na internete: <<https://techcrunch.com/2017/10/20/mozilla-proposes-combined-webxr-standard-for-virtual-and-mixed-reality-in-the-browser/>>

# Aplikácia low-g akcelerometra pre snímanie viskozity technických olejov

Slavomír Kardoš

Katedra technológií v elektronike, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Technická univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

slavomir.kardos@tuke.sk

**Abstrakt** — Dynamická, resp. kinematická viskozita pracovných kvapalín je jedným zo základných parametrov charakterizujúcich ich fyzikálne vlastnosti a má zásadný vplyv na funkcionality systémov, v ktorých sú použité ako pracovné médiá. V príspevku je opísaná metodika merania odozvy akcelerometrickej MEMS jednotky na namáhanie pracovnej kvapaliny šmykovým napätím, na základe ktorého je možné odvodiť viskozitné vlastnosti.

**Kľúčové slová** — viskozita kvapalín, meranie viskozity, elektroizolačné a lubrikačné oleje, MEMS akcelerometer

## I. ÚVOD

Technické kvapaliny v operačnom rozsahu teplôt a vplyvom rôznych vonkajších činiteľov menia svoje fyzikálne vlastnosti, preto ich znalosť je nevyhnutná pre chod systému, v ktorom sú použité ako elektroizolačné, lubrikačné a iné médiá. Priebeh viskozity kvapalín v teplotnej oblasti vzhľadom na meniacu sa vnútornú energiu a interakcie na molekulárnej úrovni môže v pracovnom rozsahu teplôt nadobúdať aj niekoľkorádovú zmenu, čo má priamy vplyv na ich mechanické vlastnosti. Širokovyužívanou skupinou kvapalinových pracovných médií sú minerálne, syntetické, resp. polosyntetické organické oleje. Závislosť viskozity týchto kvapalín od ich teploty má hyperbolický charakter, pričom v okrajových oblastiach môže nadobúdať kritických hodnôt vzhľadom na dopad na funkcionality systému. Pri ich využití ako lubrikačného média je pri nízkych teplotách potrebná vyššia hodnota mechanickej práce pre mazanie pohyblivých súčastí a pri vyšších teplotách môže dôjsť k podstatnému až kritickému zníženiu ich lubrikačnej schopnosti.

## II. VISKOZITA TECHNICKÝCH KVAPALÍN

Medzi základné vlastnosti technických kvapalín patrí viskozita, ktorá predstavuje mieru odporu, resp. vnútorného trenia voči deformácii alebo toku kvapaliny, ktorá je deformovaná vplyvom šmykového napätia alebo napätia v ťahu. Viskozita kvapaliny sa s narastajúcou teplotou znižuje. U lubrikačných médií to má výraznú hyperbolickú závislosť. [1][2]

Dynamická (šmyková) viskozita kvapaliny vyjadruje jej odpor voči laminárnemu prúdeniu, kde sa jednotlivé susedné vrstvy pohybujú paralelne odlišnými rýchlosťami. Pre laminárne prúdenie formuloval Isaac Newton zákon, podľa ktorého je tangenciálne napätie úmerné dynamickej viskozite a gradientu rýchlosti. U newtonovských kvapalín pre udržanie konštantnej rýchlosti pohybujúceho sa telesa s daným kontaktným povrchom voči referenčnému telesu je potrebná sila

$$F = \tau \cdot S = \eta \cdot \frac{v}{h} \cdot S \text{ [N]} \quad (1)$$

kde  $S$  [ $\text{m}^2$ ] je kontaktný povrch a  $h$  [ $\text{m}$ ] vzdialenosť kontaktných povrchov, pričom šmykové napätie

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy} = \eta \cdot j \text{ [N/m}^2\text{]} \quad (2)$$

kde  $\eta$  [ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ] je dynamická viskozita a  $j = dv/dy$  [ $\text{s}^{-1}$ ] gradient rýchlosti. [3][4][5] Z praktického hľadiska bola zavedená kinematická viskozita definovaná výrazom

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \text{ [m}^2\text{/s]} \quad (3)$$

kde  $\rho$  [ $\text{kg/m}^3$ ] je hustota kvapaliny. [3][6]



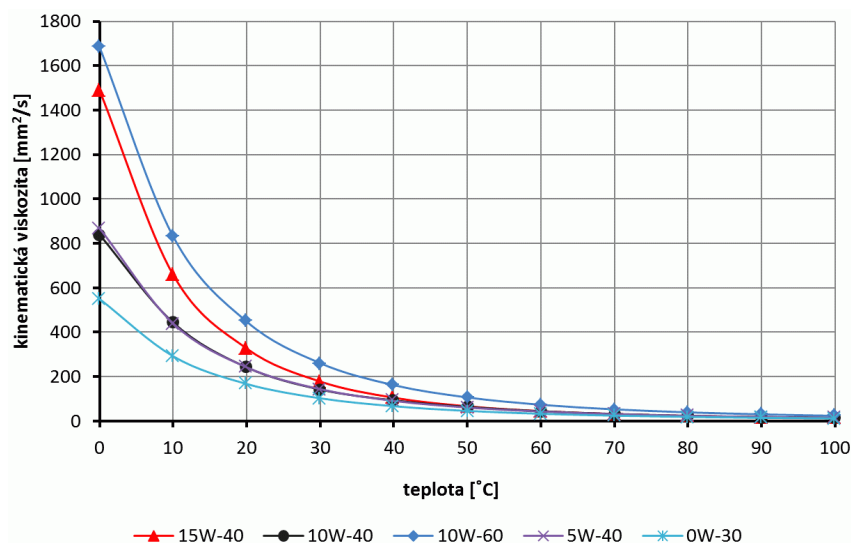
Hustota kvapaliny je daná hmotnosťou látky pripadajúcou na jednotku objemu, t.j.  $\rho = m/V$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] a súvisí s atómovou hmotnosťou a molekulárnymi väzbami. Na hustotu má vplyv teplota, tlak a povrchové napätie. Pre zjednodušenie porovnávania hustoty medzi systémami s rôznymi jednotkami je zavedená bezrozmerná relatívna hustota vzťahnutá k referenčnému materiálu, zvyčajne vode. [7][8]

Elektroizolačné a lubrikačné oleje obsahujú dve hlavné zložky - základový olej a aditíva. Základový olej predstavuje ropný základ, syntetické materiály alebo ich kombináciu, aditíva obsiahnuté v oleji poskytujú ochranu proti opotrebeniu, korózii, neutralizujú kyseliny, podporujú stabilitu viskozity, majú dispergačné a detegentné účinky, napomáhajú teda pracovným olejom spĺňať vysoké nároky na prevádzku zariadení v špecifikovaných pracovných podmienkach. [8][9][10]

Kinematická viskozita ako aj hustota pracovného oleja sú teplotne závislé charakteristiky. U motorových olejov sú tieto charakteristiky určené triedou viskozity SAE (Society of Automotive Engineers). Hustota má charakter klesajúcej lineárnej závislosti (Obr. 1). Výrobcovia motorových olejov udávajú referenčnú hodnotu hustoty pri teplote  $15^\circ\text{C}$  v  $\text{kg}/\text{l}$  alebo  $\text{g}/\text{cm}^3$ . Kinematická viskozita je určená štandardom ASTM D445 a je udávaná v jednotkách  $\text{mm}^2/\text{s}$  alebo cSt. Na báze štandardu SAE sú definované závislosti hustoty a kinematickej viskozity najpoužívanejších multitried motorových olejov v teplotnom rozsahu  $0-100^\circ\text{C}$ , na základe ktorých je vyjadrená korelácia kinematickej viskozity a hustoty (Obr. 1).

Hustota týchto médií má lineárnu závislosť, preto smernicu hustoty ľubovoľného komerčného motorového oleja spĺňajúceho štandard SAE je možné určiť na základe referenčných údajov výrobcu. [11-16]

Teplotná závislosť kinematickej viskozity motorového oleja predstavuje klesajúcu hyperbolickú závislosť (Obr. 1), kde pri teplotách pod  $0^\circ\text{C}$  je zmena kinematickej viskozity najvýraznejšia. Pri teplotách vyšších ako  $50^\circ\text{C}$  sa kinematická viskozita pre všetky triedy blíži k hodnote  $10 \text{ mm}^2/\text{s}$ . Výrobcovia komerčných motorových olejov štandardne uvádzajú jej hodnoty pre teploty  $40$  a  $100^\circ\text{C}$ .



Obr. 1 Teplotné závislosti kinematickej viskozity vybraných multitried motorových olejov podľa štandardu SAE (ASTM D7042) (SVM3000 Stabinger Viscometer, Anton Paar GmbH). [15]

### III. METÓDY MERANIA VISKOZITY KVAPALINOVÝCH MÉDIÍ

Meranie viskozity kvapalín zahŕňa viacero meracích metód rôzneho princípu a dosiahnuteľnej presnosti merania, pričom konkrétna metóda je volená v závislosti od požiadaviek aplikácie a technologickej dostupnosti:

- kapilárne a výtokové viskozimetre, využívajúce laminárne prúdenie v kruhovej trubičke – kapiláre,
- guľôčkové viskozimetre, využívajúce laminárne obtekanie guľôčky,
- rotačné viskozimetre, v zostave dvoch súosových valcov, jedného statického a druhého rotujúceho,
- vibračné viskozimetre, využívajúce tlmiacich schopností kvapaliny, priamo súvisiacich s viskozitou.

Viskozita newtonovských kvapalín je látkový parameter závislý na tlaku a teplote a na rozdiel od neneutronovských kvapalín je možné aplikovať všetky uvedené metódy.

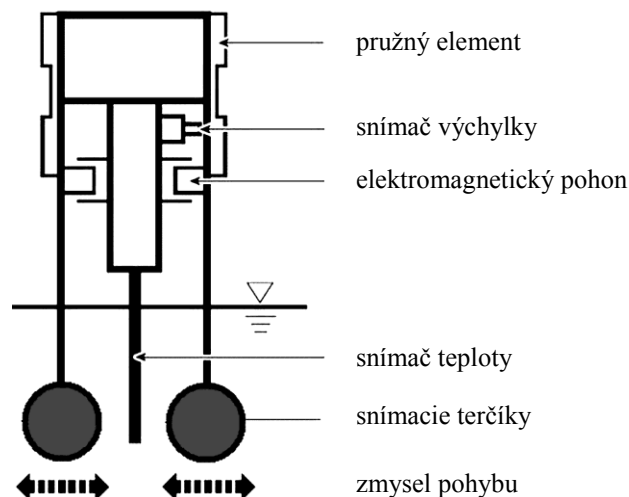
V technickej praxi je často požadovaná periodická diagnostika pracovných kvapalín vrátane viskozitných vlastností, pretože sú premenlivé i v čase vplyvom degraďačných procesov ako oxidácia, chemické zmeny podmienené tepelnými procesmi, korózia, mechanická dekompozícia a kontaminácia.

#### IV. EXPERIMENTÁLNA ZOSTAVA

Predmetom príspevku je experimentálne overenie možnosti použitia citlivej low-g (s nízkym rozsahom merania zrýchlenia) akcelerometrickej MEMS (Micro-Electro-Mechanical System) jednotky pre meranie útlmu nútených kmitov v pracovnej kvapaline pomocou vibračného viskozimetra.

Vibračný viskozimeter využíva pre aplikáciu šmykového napätia vhodné teliesko, vykonávajúce torzný alebo priečny pohyb. Snímanie je realizované meraním výkonu potrebného pre oscilácie s konštantnou amplitúdou a frekvenciou, meraním útlmu nenúteného kmitania alebo meraním rezonančnej frekvencie. Súčiniteľ tlmenia je pri laminárnom prúdení lineárnou funkciou kinematickej viskozity, t.j.  $b = k \cdot \nu$ .

Principiálne usporiadanie na Obr. 2 je založené na meraní útlmu dvoch kmitajúcich tenkých kovových terčiek a pri vhodnej konštrukcii umožňuje presné meranie viskozity v širokom rozsahu hodnôt. Viskozita je spravidla meraná nepriamo na základe merania veľkosti budiaceho sínusového prúdu potrebného na budenie kmitavého pohybu sústavy terčiek pri frekvencii typicky 30 Hz a amplitúde mechanických kmitov do 1 mm. [3] Pred samotným meraním je prístroj kalibrovaný pomocou kvapaliny známej viskozity. Súčasné automatizované zostavy umožňujú automatizované meranie viskozity v definovanej teplotnej oblasti použitím prietokového termostatu a riadiaceho softvéru pre riadenie teplotného spádu, samotné meranie, zber a spracovanie nameraných dát.



Obr. 2 Zostava vibračného viskozimetra v priečnom usporiadaní. [23]

Pre experimentálnu zostavu bolo vytvorených niekoľko konfigurácií, lineárneho i priečného usporiadania, pričom najproblematickejším prvkom bol systém generátora nútených kmitov. Uspokojivá signálová odozva bola dosiahnutá usporiadaním na Obr. 3. Snímacia jednotka je tvorená 3-osovým analógovým akcelerometrom ADXL335 (Obr. 4) s nasledovnými charakteristickými parametrami:

- rozsah snímania akcelerácie:  $\pm 3$  g (low-g),
- napájanie 1,8 – 3,6 V, spotreba: 350  $\mu$ A (typ.),
- šírka pásma 0,5 – 1600 Hz, externe nastavená na 100 Hz.

Jednotka budenia je založená na elektromagnetickom systéme typu „voice-coil“:

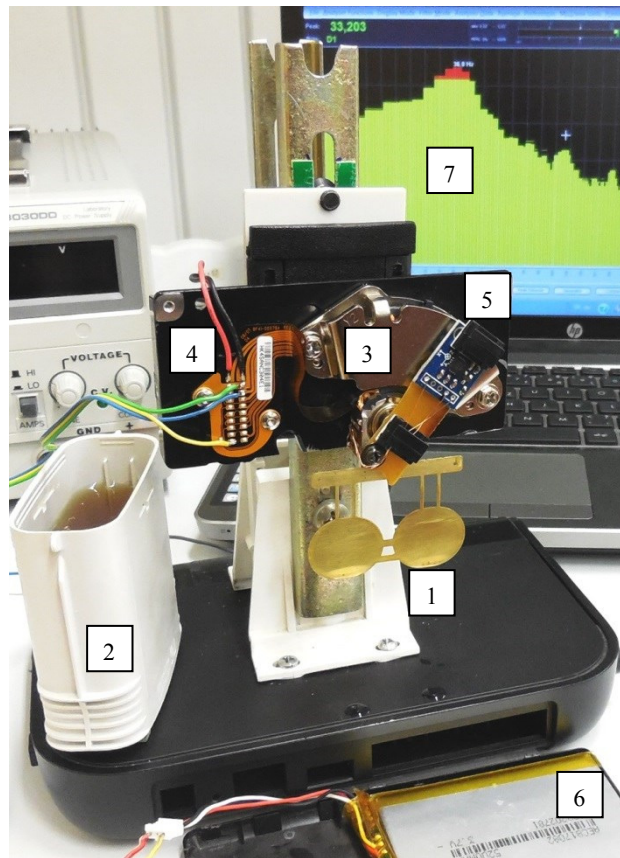
- jednocievkový systém so vzduchovým jadrom,
- precízne výkyvné ramienko s ložiskovým uložením,
- antiparalelne uložená dvojica neodýmiových magnetov,
- uhlová výchylka  $\approx 30^\circ$ , nastavená na uhlovú dráhu  $< 1$  mm,
- prepojenie elektromagnetického systému, napájania a výstupu akcelerometrickej jednotky plochým pružným polyimidovým pásikom s medenými vodičmi.

Budenie kmitavého pohybu vychýľovacieho systému je riadené signálom funkčného generátora METEX MXG-9810A, sínusovým signálom o frekvencii 36 Hz.



Signál akcelerometrickej jednotky bol v reálnom čase spracovávaný spektrálnym analyzátorom Spectrum analyzer pro Lab s nasledujúcimi nastavenými parametrami:

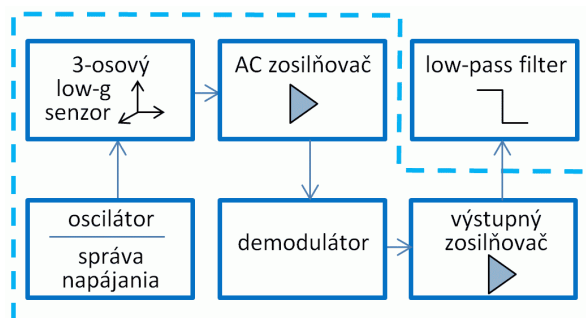
- šírka analyzovaného pásma 0 – 1000 Hz,
- mód filtra – Hanning,
- meranie amplitúdy s aplikovaným filtrom 36 Hz.



Obr. 3 Experimentálna zostava pre meranie odozvy akcelerometrickej jednotky na útlm núteného kmitavého pohybu v pracovnej kvapaline.

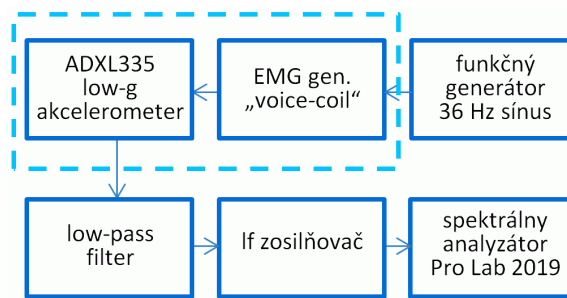
Základné prvky meracej zostavy (Obr. 3):

- 1 – dvojica 200  $\mu\text{m}$  mosadzných terčikov na spoločnom ramienku,
- 2 – pracovná polypropylénová nádobka s objemom 100 ml,
- 3 – elektromagnetický vychýľovací systém s budenou cievkou pripojenou prostredníctvom pružného fóliového káblíka,
- 4 – konektor s vyústením fóliového káblíka na základovej doske,
- 5 – akcelerometrická meracia jednotka ADXL335 umiestnená na výkyvnom ramienku,
- 6 – 3,6 V Li-Ion akumulátor napájania akcelerometrickej jednotky,
- 7 – okno spektrálneho analyzátoru Spectrum analyzer pro Lab.



Obr. 4 Bloková schéma 3-osového analógového akcelerometra ADXL335 s externe nastaviteľnou šírkou pásma. [18]

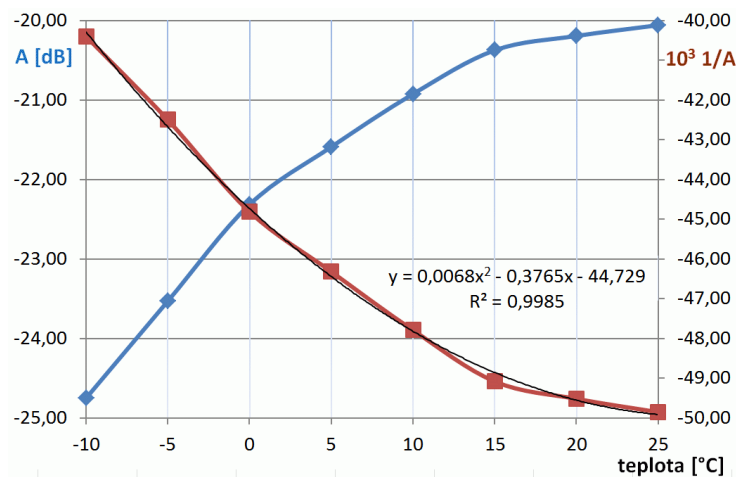
Bloková schéma meracieho systému s uvedením základných stavebných prvkov je zobrazená na Obr. 5.



Obr. 5 Bloková schéma meracieho systému, prerušovanou čiarou prvky na spoločnom výkynom ramienku podliehajúce pracovnej frekvencii generátora sínusového signálu.

## V. DISKUSIA EXPERIMENTÁLNEHO MERANIA

Merací systém bol udržiavaný na izbovej teplote a pri nastavenej pracovnej frekvencii 36 Hz a rozkmitie pracovných terčikov <1 mm bez pracovného média bola odmeraná teplotná závislosť signálovej odozvy akcelerometra na útlm núteného kmitavého pohybu terčikov v pracovnej kvapaline v teplotnej oblasti -10 až +25°C (Obr. 6). Použitým pracovným médium bol multitriedový komerčný motorový olej Pamasoil 10W-40 podliehajúci špecifikácii ACEA.



Obr. 6 Graf závislosti signálovej odozvy akcelerometra ADXL335 od teploty pracovného média s uvedením aproximačnej polynomickej funkcie.

Spektrum signálovej odozvy akcelerometra obsahuje okrem dominantnej zložky budiaceho signálu aj množstvo rušivých zložiek pochádzajúcich v rôznom rozsahu od interferencií mechanických súčastí, elektromagnetického rušenia a okolitých vibrácií. Porovnaním signálovej odozvy bez pracovného média, t.j. vo vzduchovej atmosfére, s odozvou s pracovným médium, v oboch prípadoch pri izbovej teplote, je možné konštatovať odstup približne 4 dB. Meraním na vzorke pracovnej kvapaliny v uvedenom rozsahu pracovných teplôt bol zaznamenaný odstup približne 5 dB, s tvarom charakteristiky aproximovateľným na polynomicкую rovnicu 2. rádu s koeficientom spoľahlivosti až 0,998. Tvar charakteristiky predstavuje hyperbolickú funkciu s charakterom teplotnej závislosti kinematickej viskozity tohto typu média, čoho predpoklad bol aj cieľom tejto štúdie.

## VI. ZÁVER

V príspevku bola analyzovaná možnosť merania viskozity špecifického typu kvapalín, ktorými sú minerálne oleje, použitím low-g akcelerometrickej MEMS jednotky ADXL335. Experimentálna zostava bola založená na princípe vibračného viskozimetra v priečnom usporiadaní s kmitajúcimi kruhovými terčikmi a elektromagnetickým vychýľovacím systémom. Na základe útlmu núteného kmitavého pohybu v pracovnej kvapaline bola predpokladaná jeho korelácia s amplitúdou kmitavého pohybu na frekvencii 36 Hz v teplotnej oblasti. Porovnaním získanej charakteristiky so špecifikáciou zvolenej pracovnej kvapaliny, polosyntetickým motorovým olejom viskozitnej triedy 10W-40, je možné podľa tvaru charakteristiky konštatovať súvis medzi kinematickou viskozitou a útlmom v newtonovskom type kvapaliny, pričom presnosť a citlivosť merania je možné ovplyvniť mechanickou zostavou, použitým snímacím prvkom, kalibráciou a kompenzáciou vonkajších vplyvov, čo je spolu s filtráciou spektra signálu v pracovnej oblasti snímania priestor pre ďalšie experimentálne merania.

## POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol s finančnou podporou projektu KEGA č. 021TUKE-4/2017 „Podpora moderných metód výučby v Laboratóriu automobilovej elektroniky“.

## LITERATÚRA

- [1] FOWLER M, *Viscosity* 2007. Online: <<http://galileo.phys.virginia.edu/classes/152.mfl1.spring02/Viscosity.htm>>
- [2] Kolektív autorov: Neutrium, *Viscosity*, 2012. Online: <[https://neutrium.net/fluid\\_flow/viscosity/](https://neutrium.net/fluid_flow/viscosity/)>
- [3] JANALÍK, J.: *Viskozita tekutin a její měření*, VŠB-TU Ostrava, 2010
- [4] TABOR D., *Gases, Liquids and Solids: and Other States of Matter* (Cambridge Press, 1991). ISBN 978-05-2140-667-3
- [5] VANWAZER J.R., *Viscosity and Flow Measurement* (Interscience, 1963)
- [6] Kolektív autorov: Kittiwake, *Viscosity: A lubricant's most important characteristic*. Online: <[http://www.kittiwake.com/sites/default/files/2%20-%20Viscosity%20Dec12\\_0.pdf](http://www.kittiwake.com/sites/default/files/2%20-%20Viscosity%20Dec12_0.pdf)>
- [7] ELERT G.: *The Physics Hypertextbook*, 2014. Online: <<http://physics.info>>
- [8] MANN D.: *Motor Oils and Engine Lubrication*, 2008. Online: <<http://www.motor-oil-engineers.com/>>
- [9] CALRK Ryan James, M.S.E.: *On-Board Monitoring of Engine Oil*, Western Michigan University, 2011. Online: <[www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA538688](http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA538688)>
- [10] VAFANEJADA.: *MEMS in Automotive: Oil Quality Sensor*, 2009. Online: <<http://repository.tudelft.nl/view/ir/uuid%3A1ed3ab0b-c131-45a1-8f85-26ec8f5eb24f/>>
- [11] Kolektív autorov: *Machinery Lubrication, Oil Viscosity*. Online: <<http://www.machinerylubrication.com/Read/411/oil-viscosity>>
- [12] WILLIAMSON M., KEW Engineering, *Automotive Fluids* Online: <[http://www.kewengineering.co.uk/Auto\\_oils/oil\\_viscosity\\_explained.htm](http://www.kewengineering.co.uk/Auto_oils/oil_viscosity_explained.htm)>
- [13] RANOWSKY Amanda, CSC Scientific Company, Inc. 2015. Online: <<http://www.cscscientific.com/csc-scientific-blog/whats-the-difference-between-dynamic-and-kinematic-viscosity>>
- [14] D2270-04, 2004, *Standard Practice for Calculating Viscosity Index from Kinematic Viscosity at 40°C and 100°C*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2004. Online: <<http://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D2270-04.htm>>
- [15] Viscopedia, Anton Paar GmbH. Online: <<http://www.viscopedia.com/viscosity-tables/substances/engine-oil/>>
- [16] Anton Paar GmH, SVM 3001 Stabinger Viscometer datasheet
- [17] GLADIŠOVÁ, MIHALÍK, *Spojité signály*. ISBN: 976-80-553-1936-0
- [18] Analog Devices, ADXL335, *Low Power, 3-Axis ±3 g Accelerometer*, Datasheet, rev. B, 2010. <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/adxl335.pdf>

# Information automated portal for monitoring live records from a proxy server

<sup>1</sup>Patrik SEMAN, <sup>2</sup>Aleš DEÁK, <sup>3</sup>František JAKAB

<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>patrik.seman@student.tuke.sk, <sup>2</sup>ales.deak@tuke.sk, <sup>3</sup>frantisek.jakab@tuke.sk

**Abstract** — This work is focused on processing and analyzing data traffic from a proxy server. It includes an overview of individual devices for the availability of Internet services, a comparison of existing solutions for the processing of Internet traffic records and a description of their advantages and disadvantages. The user interface is used to track internet traffic as well as to monitor individual devices. We designed a conceptual model with a user and database link and a possible sequence of web interface screens. The web interface itself and communication with individual devices is described in detail at work. The internet traffic was analyzed from the obtained data and suggested possible improvements, respectively. optimization.

**Keywords** — Proxy, Server, Firewall, Web portal, Database

## I. INTRODUCTION

One of the main parameters for a well-functioning network topology is the security of Internet traffic. More and more emphasis is being placed on ensuring Internet communication. Common routers and switches do not provide a satisfactory solution in this scope.

This article describes the security of Internet traffic, specifically through firewalls, proxy servers, and load balancers. These devices are from multiple manufacturers, primarily Check Point Software Technologies and Juniper Networks. Most proxy servers are from Cisco Systems. Cisco Systems offers a device that is primarily focused on Internet traffic safety. Specifically, this is a Cisco IronPort Web Security Appliance. Viewing access records on devices from Juniper Network and Check Point Software Technologies is secured with a local application with a graphical interface. This is missing for Cisco Systems devices. It is only possible to view the recordings using a terminal e.g. using the putty program.

This article describes the design of a conceptual model and then the implementation of an automated information portal for tracking and evaluating these graphical records. The data displayed on this portal can be easily and efficiently viewed and stored in a database if necessary. This article also analyzes the selected sample of access records.

This information portal would speed up and streamline the work, as the high-priority problem is mainly focused on the speed and accuracy of the internet traffic assessment.

## II. THE PROBLEM OF ACCESS RECORD

Activity logs and all events that were executed through a proxy server are stored in a special file according to [1]. The Cisco IronPort WSA device by source [1] offers multiple kinds of records, such as access, system, authentication, and many others that are involved in filtering web page access. In this case, the access records are essential. An example of such record is shown below.

```
1278096903.150 97 172.xx.xx.xx TCP_MISS/200 8187 GET http://my.site.com/  
-  
DIRECT/my.site.com text/plain DEFAULT_CASE_11-PolicyGroupName-Identity-  
OutboundMalwareScanningPolicy-DataSecurityPolicy-ExternalDLPPolicy-  
RoutingPolicy  
<IW_comp,6.9,-,-,"-,-,-,-,-,"-,-,-,-,"-,-,-,-,"-,-,-,-,-,IW_comp,-,-  
","-"  
"Unknown","Unknown","-","-",198.34,0,-,[Local],"-  
",37,"W32.CiscoTestVector",33,0,  
"WSA-INFECTED-  
FILE.pdf","fd5ef49d4213e05f448f11ed9c98253d85829614fba368a421d14e64c426da  
5e"> -
```

Fig. 1 Access record preview.

### III. CONNECTION AND COMMUNICATION WITH THE DEVICE

#### A. Connection to the device

It is necessary connect from laptops to a remote server. A secure VPN connection using Check Point SecuRemote application is used for this connection. To establish a connection, you need to know the IP address of the server to which you are connecting, know your login name and password, and own a physical authentication card.

Subsequently, it connects to Windows Server 2012 R2 using a remote screen connection application. To ensure file transfer, you need to set up local data storage in this connection. This server is logically located inside the customer's network. This way it is possible to connect to already mentioned devices, i.e. firewalls, proxy servers and load balancers.

From this server, you need to connect to a Linux Red Hat server. On this server, the automation information portal and all files needed for its proper operation will be stored. Connecting to this server is provided by FileZilla. For successful connection you need to know the server IP address, login name, password and port.

#### B. Conceptual model

A conceptual model of the transition of individual screens in the user interface of the information portal together with possible naming of transition pages has been proposed. When you start, the user will see a login page where they need to sign in. Then he gets to the main screen from which you can get to the device from the selection menu, namely a firewall, proxy server or load balancer. After clicking on one of these proxy servers, you can click on the tracking of Internet traffic records.

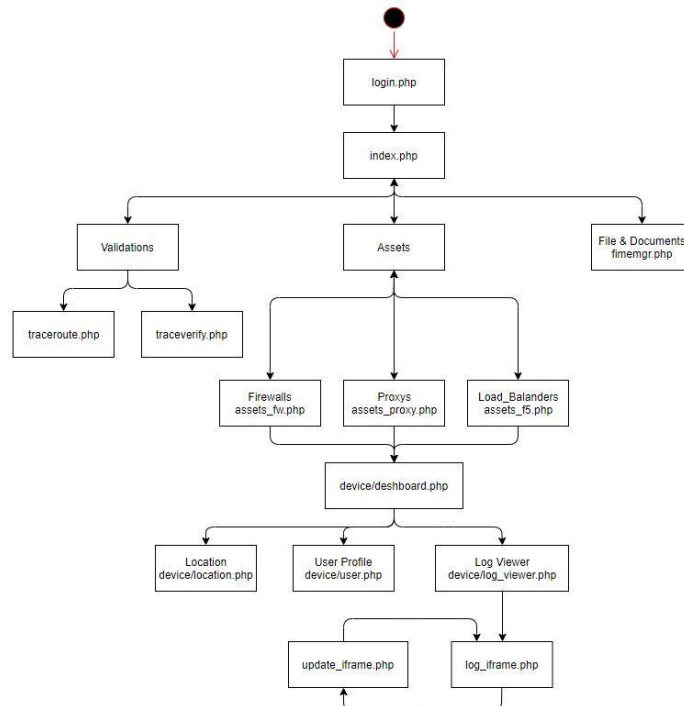


Fig. 2 Conceptual model of information portal.

## IV. INFORMATION AUTOMATED PORTAL

### A. Availability verification

Device availability verification is performed on an iframe. This element runs a script to verify the availability of all devices. The iframe is used to display the content of a webpage within an already open web page without having to reload this page.

Another file contains a script to connect to the database and then list the availability and average response time of the device. Using function, a device is selected from the database, and the while cycle stores the name and IP address of all devices in the array.

The ping command with parameter "-c 1" is used to verify the device availability, so the number of packets to be sent to one is set.

```
[root@attsvielinvtl ~]# ping -c 1 161.99.65.73
PING 161.99.65.73 (161.99.65.73) 56(84) bytes of data:
64 bytes from 161.99.65.73: icmp_seq=1 ttl=241 time=217 ms

--- 161.99.65.73 ping statistics ---
1 packets transmitted, 1 received, 0% packet loss, time 217ms
rtt min/avg/max/mdev = 217.534/217.534/217.534/0.000 ms
```

Fig. 3 Ping preview.

As can be seen in the Fig. 3, the last 2 characters in this string represent the number of milliseconds for which the device responded to the request. If the string ends with these two characters, it is obvious that the device is available, otherwise the device may not respond. With the while loop and the function, the entire device array is passed, and this availability test is performed. Another function is to select the part of the string that is needed. In this case, the last 13 characters that represent the number of milliseconds for which the device responded are essential.

### B. Checking other information

All static device information such as name, IP address, serial number, manufacturer, device model, and so on. stored in the database. Other information that may change, such as the current operating system version, installed policy, whether the device is primary or secondary, or the current number of connections, will be retrieved directly from the device.

In the case of dynamic information for Check Point Software Technologies firewalls, this data is read directly from the device. Using the snmpbulkwalk function, which according to source [2] is supported directly by the Firewall manufacturer, where individual information from the device is defined using predefined OID strings. These are strings composed of numbers separated by a dot.

Each OID write returns a string in a pre-agreed format. For numeric values such as CPU usage or number of sessions, this is the "Integer" format. For other text notifications, this is the "String" format.

### C. Show records from proxy server

This page created a form where you need to enter a regular expression to search. Most often, this is the username, the website the user wants to visit, or the client's IP address.

You can choose from the form to keep track of records from the oldest or currently the latest on the device. This is ensured by the option, where "-t" is inserted as "value" to search for oldest records. In this case, it is possible to add other different strings that will be sent along with the device name in the POST method when submitting the form.

In this case, data is sent using two methods. The first is the \$\_GET request, which is displayed in the URL and represents the device name, and the second is the POST method, which is sent like the \$\_GET request.

Here is the problem because it is necessary to re-send the data to a nested script that is running with the loading of the iframe element itself. Therefore, it is not possible to reuse the form and send the data using the POST method. SESSION was used, and the data was saved to a new session.

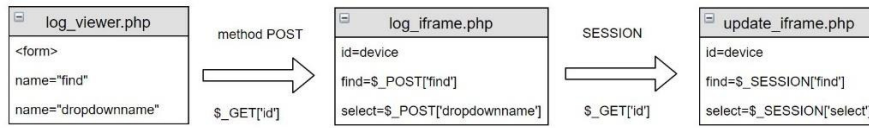


Fig. 4 Diagram of sending data using methods.

Subsequently, the script is connected using the ssh2 function and authenticated against the selected proxy server. The function executes the requested command on the device, and the syntax is added from variables that were accepted by the SESSION method. In this case, these are access records, so the command is "grep -e \$ find \$ select accesslogs" in our case. Where variable \$ find represents the regular expression specified in the form and the variable \$ select parameter of the command selected from the selection menu. The output of this command is the data flow. The data itself is stored as a string of characters that need to be split and transformed into an intelligible record, evaluating whether the record is allowed or rejected.

You must find a space in the regular expression that defines where the string is split and stores it in the field.

The first access record output parameter is the date and time displayed in UNIX format. This format is unreadable and needs to be translated into a clear form.

If the variable DENIED is included in the fourth record, the output is red, otherwise the text is printed in green.

*D. the benefits of using an information portal*

To manually scan access records, you need to take nine steps to reach your goal. Only three steps are needed if an information portal is used. The manual and automatic search steps have been taken and the time taken to complete these steps has been evaluated. Show in fig. 5.

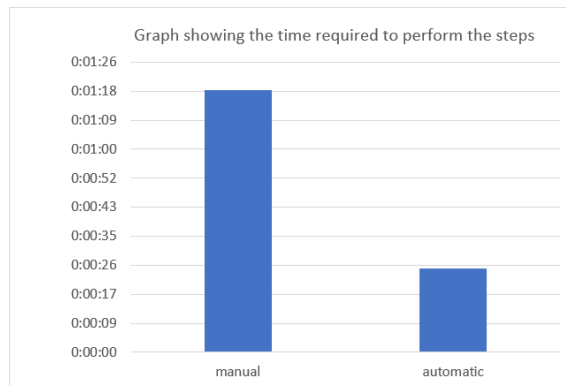


Fig. 5 Graph of time comparison.

*E. analysis of processed records*

The device records are automatically saved to the database when the script is run, using a sample of 1000 search entries with the search string "google" in our analysis. These are access records that contain a regular google expression in the URL. These data were analysed and a graph of each transaction type was created



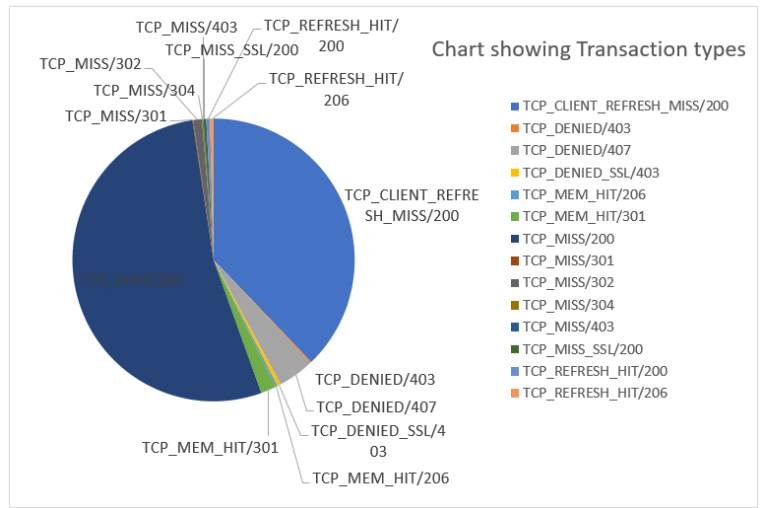


Fig. 6 Chart of transaction types.

Most records are of type TCP\_MISS with code 200, this entry according to [3] represents that the transaction was successful but was not stored in cache. The second most common transaction is TCP\_CLIENT\_REFRESH\_MISS with code 200. This transaction was also successful, and according to [3] it represents the retrieval of new data, respectively. page refresh. Rejected transactions, as seen in Figure 6, were less than 5% according to the TCP\_DENIED code

TCP\_DENIED transactions are divided into several types. There are many reasons for a failed transaction. In this case, it is TCP\_DENIED / 403, which, according to [4], means that the target page or the target page is the server refused to accept the transaction. An example for this rejection is e.g. if the customer is not allowed to access the destination server. Another type of rejection is TCP\_DENIED / 407. This rejection according to [4] means unsuccessful authentication to the proxy server. An example is that the user did not use a proxy setting. TCP\_DENIED\_SSL / 403 is like a target server transaction rejection, except that it is an encrypted SSL connection.

From the analysis of the Type field, it was found that the most requests were of the CONNECT type, i.e. a request to connect to that web page. On the contrary, the least demand was HEAD.

After analyzing the Body field, it was found that the most requests were sent in the form of text/html, while the least requirements were javascript.

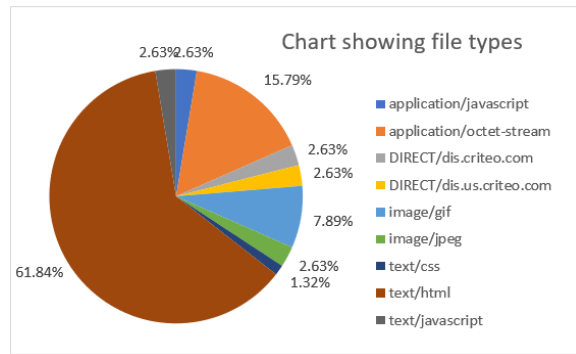


Fig. 7 File type diagram.

Another analysis of the "Size" field compared the size of each file that the proxy server processed. These data are displayed as bytes. It was found that the most records were received at 50,000 - 99,999 bytes, i.e. 50-99KB.

Another analysis selected a sample of records where the http link was entered as a regular expression. Thus, the entire Internet traffic was analyzed, regardless of all parameters. This analysis found the most visited websites. Most requests have just been sent to Microsoft website, as customers are using Windows operating systems, but operating system updates as well as other Windows applications can be included in this statistic.



## V. CONCLUSION

The information portal provides the ability to track both current and historical access records based on a predefined regular search term. If necessary, these access records can be stored in a database. The information portal also performs verification of the availability of individual devices and offers display of both static and dynamic information on the device. When displaying individual access records, each Internet traffic received by the proxy server is displayed and evaluated. The time needed to manually and automatically scan access records was measured, and it was found that automation saved 3 times the amount of time.

By analyzing the sample of access records from the Internet traffic, it was found that the bulk of Internet traffic is allowed and meets the security policy criteria on the device. Rejected access records are when the user has not been allowed access to the destination server, or the proxy server name or IP address has not been correctly set by the user. It has also been found that users have most visited the Microsoft website with the html file type.

## 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 Program funded by the ERDF. We support research activities in Slovakia/This project is being co-financed by the European Union.

## REFERENCES

- [1] Yun-Jung Cheng, Kuo-chen Wang, Rong-Hong Jan, Chien Chen, Chia-Yuan Huang, Efficient Failover and Load Balancing for Dependable SIP Proxy Servers, IEEE, 2017, p. 20–55.
- [2] W. V. Wathsala, Buddhika Siddhisenat, Ajantha S. Athukorale, Next Generation Proxy Servers, IEEE, 2008 p. 115–119.
- [3] Sean Oriyan, Web Server & Web Application Security -Verlag, IEEE, 2016
- [4] Thawatchai Chomsiri , Xiangjian He, Priyadarsi Nanda, Zhiyuan Tan, An Improvement of Tree-Rule Firewall for a Large Network, IEEE, 2017

# SloGest – databáza na analýzu multimodality

Stanislav ONDÁŠ, Rastislav HUSOVSKÝ

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií  
Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach  
Boženy Nemcovej 32, 042 00 Košice, Slovenská republika

rastislav.husovsky@student.tuke.sk, stanislav.ondas@tuke.sk

**Abstrakt** — Predkladaný článok popisuje novovytvorenú audiovizuálnu databázu SloGest a jej analýzu. SloGest pozostáva z videonahrávok monológov a diskusií, kde snímané subjekty produkovali reč a gestá. Cieľom vytvorenia takejto databázy bolo analyzovať vzťah reči a gest pre slovenčinu, produkovaných človekom a výsledky analýz pretaviť do modulu generovania multimodálneho výstupu humanoidného robota NAO.

**Kľúčové slová** — multimodálnosť, konverzácia, gestá, komunikácia človek-stroj

## I. ÚVOD

V modernom svete sa užívatelia stretávajú s komunikáciou s inteligentnými počítačmi stále viac, čo vytvára tlak zo strany verejnosti na vývojárov a dizajnérov týchto systémov. Na to aby sa užívateľom javili tieto systémy ako vhodné a jednoduché pre komunikáciu, musia sa blížiť komunikácii s ľudskou bytosťou. Medziľudská komunikácia je vysoko koordinovaná, pričom účastníci vyjadrujú ciele, rozvíjajú spoločné myšlienky a monitorujú pozornosť za cieľom uchovania dobrého sociálneho vzťahu.

Na druhej strane, tradične automatizované systémy boli často navrhnuté tak, že sa zameriavali viac na konkrétnu úlohu ako na spôsob interakcie resp. na čo najväčšie prispôsobenie sa prirodzenej komunikácii s používateľom. To môže viesť k frustrácii používateľa a k rýchlej strate záujmu o takéto systémy. S rastúcim dopytom po takýchto systémoch vo všeobecnosti narastá aj dopyt po systémoch s vyšším výkonom, ktoré dokážu vykonávať viac ako len jednoduché úlohy. Robotické systémy môžu byť jedným z riešení pre problémy starnúceho obyvateľstva, ktoré si vyžaduje zvýšenú starostlivosť, často na dennej báze. Špeciálnou skupinou robotov, u ktorých je zvlášť dôležitý prirodzený charakter komunikácie sú tzv. humanoidné roboty. Napriek tomu, že v poslednom desaťročí sa vo všeobecnej aj humanoidnej robotike dosiahol veľký pokrok, je jasné, že je potrebné vykonať veľa práce a výskumu predtým, aby sa interakcia s takýmito systémami bude podobať na medziľudskú komunikáciu. Pre rozhranie človek-robot je zvlášť prínosné, ak sa táto interakcia vykonáva multimodálnym spôsobom, teda s využitím viacerých komunikačných kanálov súčasne. Prax ukazuje, že komplementarita rečového a gestikulačného kanála je veľmi dobrým spôsobom prenosu informácií medzi participantmi interakcie.

Generovanie reči a gest, ako výstupu robotického systému, kladie vysoké nároky na sémantickú presnosť generovaných symbolov a na časovú správnosť (synchronnosť) produkovaných symbolov. V rámci našej práce sme sa zamerali na výskum medziľudskej rečovej komunikácie sprevádzanej gestami na novovytvorenom korpuse videonahrávok - SloGest, pozostávajúcej z prerozprávání príbehov a dyadických konverzácií. Následne bola vykonaná analýza týchto nahrávok označením gest a slovných jednotiek. Analýza dát priniesla poznatky o generovaní reči spolu s gestami, špecificky pre slovenský jazyk, kde niektoré z týchto poznatkov boli integrované do modulu generovania multimodálneho výstupu pre robota NAO a multimodálny systém VoMIS.

## II. REČ A GESTÁ AKO MULTIMODÁLNY VÝSTUP

Pri osobnom rozhovore si ľudia vymieňajú informácie prostredníctvom zmyslových komunikačných kanálov - modalít. Rečový kanál komunikuje verbálnu časť informácie. Najčastejšími prostriedkami neverbálnej komunikácie je gestikulácia a mimika. Spojenie týchto dvoch komunikačných kanálov je najčastejšou variáciou multimodality v rámci interaktívnych

systemov komunikácie človek-stroj. Toto spojenie modalít ma svoje špeciálne miesto v oblasti humanoidnej robotiky, nakoľko telesná podobnosť humanoidov s človekom zvyčajne aj očakávania používateľov vzhľadom k schopnosti robotov gestikulovať rukami a tiež používať mimiku a gestá hlavy.

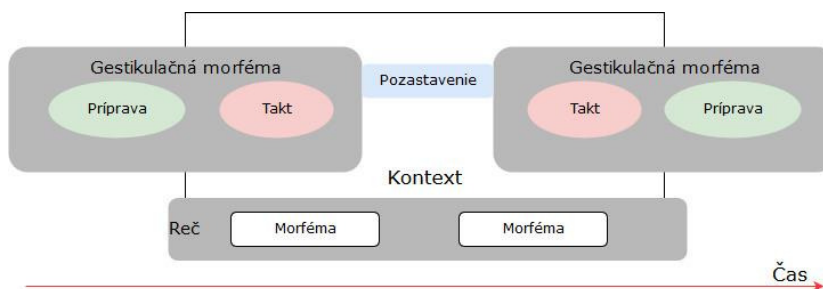
McNeill vo svojej psycholingvistickej štúdií [1] poukazuje na význam gest ako prvku, ktorý spája opisné schopnosti človeka s jazykovými schopnosťami. Rečník teda používa gestá na vyjadrenie toho, čo nevie vyjadriť len pomocou reči. Gestá je teda možné považovať za jeden z efektívnych spôsobov ako vyjadriť myšlienky a pochopenie udalostí reálneho sveta ako aj ako komunikovať realitu vizuálne-vnímaného priestoru.

V prirodzenom rozhovore medzi ľuďmi fungujú gestá a reč spoločne ako expresívny celok a poskytujú komunikačnému partnerovi ucelený sémantický obraz. Psycholingvistické dôkazy potvrdili komplementárny charakter verbálnych a neverbálnych aspektov ľudského prejavu [1]. Popisované modalities - gestá a reč nie sú navzájom podriadené, ale spolu vytvárajú ucelený význam. Sú spracované ako „myšlienkové jednotky“, ktoré vychádzajú z konkrétnej ľudskej myšlienky. V určitej fáze sú rozdelené na pokyny pre motorické systémy, ktoré ovládajú pohyb a reč [2].

Vizuálna forma, typ gest (trajektória, miera interaktivity) sa môžu meniť naprieč rečníkmi, rečníckymi štýlmi, resp. sú kultúrne-podmienené. Napriek tomu je možné identifikovať aj spoločné črty a pravidlá produkcie gest v rámci medziľudskej konverzácie. Za veľmi významnú črtu považujeme časovú koherentnosť medzi rečovou a gestikulačnou modalitou, ktorej nedodržanie sa prejaví vo vnímanej neprirodenosti takejto interakcie.

#### A. Gestá

Gestá môžeme definovať ako neuro-muskulárnu aktivitu, ktorej výsledkom sú rôzne typy gest. Okrem sémantického významu, ktorý prenášajú v spojitosti s rečovým kanálom, sú ovplyvnené aj personalitou rečníka, jeho aktuálnym duševným a fyzickým stavom a okolnosťami komunikácie. Kontinuálne gesto rúk sa skladá zo série pohybových fáz, ako je pohyb z počiatočnej do určitej polohy, prechodné pohyby počas zmeny a držanie polohy [3].



Obr. 1 Štruktúra gestikulačnej jednotky

De Reuter v [4] popísal hierarchickú štruktúru generovania gestikulácie. Popísal pojem gestikulačnej frázy, ktorá začína v momente, kedy je končatina dvihnutá od tela a končí, keď sa končatina vráti späť do východnej (pokojovej) polohy, ktorá sa môže počas priebehu komunikácie meniť. Popisovaná jednotka sa skladá zo sekvencie častí (gestikulačných morfém) ako: príprava-takt (úder)-pozastavenie-uvolnenie (Obr. 1), ktoré nazývame aj pojmom gestikulačné fázy.

Gestikulácia sa klasifikuje na hlavné typy gest vzhľadom k sémantickému obsahu reči, najmä z pohľadu pohľadu poslucháča. Existuje viacero klasifikácií gestikulácie. Jedným z najčastejšie používaným rozdelením je delenie na: *deiktické*, *motorické* (*beat*), *symbolické* (*emblem*), *ikonické* a *metaforické* gestá [1][2]. Gestikulačná fráza môžeme popísať nasledovne:

- *Deiktické gestá* (taktiež nazývané ukazovacie) naznačujú skutočné, implikované alebo imaginárne osoby, objekty, smery atď. Sú silne spojené s prostredím rozprávača alebo tzv. "gestikulačným priestorom". Môžu byť použité v spojitosti s rečou ale aj bez.
- *Motorické gestá* sa zvyčajne vykonávajú ako rýchle pohyby ruky a nemajú vlastný sémantický obsah. Produkcia týchto gest koreluje so zvýšeným trvaním vysokofrekvenčných formantov (rezonančných hlasivkových frekvencií), ktoré boli produkované rečníkmi, čím rečníci tieto akustické úseky zdôraznili pre poslucháča [4].
- *Symbolické gestá* sú veľmi konvenčné a "lexikalizované", ako napríklad gesto, kde má rečník palec hore znamená "dobré" alebo "dobré urobené". Symbolické gestá sú úzko spojená z kultúrou.

- *Ikonické gestá* ilustrujú to, čo sa hovorí. Napríklad keď rečník ilustruje fyzickú položku pomocou ruky, aby ukázala, ako veľká alebo malá je. Ikonické gestá sa líšia od ostatných gest tým, že sa používajú na zobrazovanie fyzických predmetov a činností. Často majú pomocný charakter pri problémoch s vyslovením názvu popisovaného fyzického predmetu alebo činnosti.
- *Metaforické gestá* vizuálne zastupujú abstraktné javy a kategórie. Napr. ukázanie prázdnych dlaní môže naznačovať „predstavenie problému“. Majú tendenciu zvyrazňovať verbálnu zložku a taktiež vyvolať u poslucháča emócie.

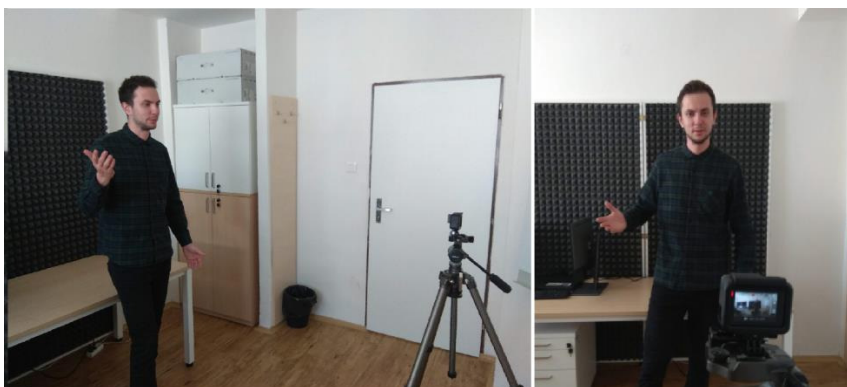
### III. SLOGEST – MULTIMODÁLNA DATABÁZA

Pre skúmanie procesu generovania reči a gest v medziľudskej interakcii, najmä z pohľadu správnej voľby gest v spojitosti s rečovým prejavom a z pohľadu synchronizácie týchto modalít sme sa rozhodli vytvoriť multimodálnu databázu SloGest, ktorá obsahuje audiovizuálne nahrávky gestikulujúcich ľudí, nakoľko takáto databáza pre slovenský jazyk neexistuje resp. nie je voľne dostupná.

Pre tento experiment bola pripravená miestnosť s kamerou a kontrastným pozadím. Účastníci realizovali tri typy úloh:

- Úloha č.1. Prerozprávanie krátkeho príbehu: Každý subjekt si na začiatku úlohy pozrel krátku epizódu animovanej rozprávky. Po vzhliadnutí bolo ich úlohou prerozprávať príbeh na kameru.
- Úloha č.2. Rozprávanie zážitku/receptu: Účastníci v tejto úlohe mali vyrozprávať svoj vtipný alebo zaujímavý zážitok s autom (mužský účastníci) resp. popísať svoj obľúbený recept (účastníčky). Voľba tém súvisela so snahou o väčšiu voľnosť ako v prvej úlohe, aby nebol obmedzený gestikulačný repertoár. Zároveň sme sledovali ďalšie dva aspekty:
  - uvoľniť rečníkov, aby sa prestali sústrediť na kameru a boli viac spontánny
  - navodiť a vniesť do generovania gest pozitívny emočný náboj.
- Úloha č.3. Diskusia na tému (dodatočná úloha): Vzhľadom na to, že predošlé dve úlohy nepresahovali časovú dĺžku 3 minúty, a počet použitých gest bol nízky bola dodatočne pridaná tretia úloha – diskusia na tému „Ako by ste zlepšili vysoké školy?“. Hlavnými rozdielmi oproti predchádzajúcim úlohám boli:
  - Oproti prvým dvom úlohám, ktoré boli realizované ako samostatné rozprávanie rečníka (bez zapájania sa iného účastníka interakcie), v tejto úlohe sa jednalo o diskusiu medzi dvomi osobami - subjektom interakcie a „moderátorom“, ktorý stál vedľa kamery.
  - Výber témy diskusie bol zvolený tak, aby sa téma osobne dotýkala subjektov interakcie (zvlášť v prípade pedagógov), pričom sme očakávali skôr emócie z negatívneho spektra. Emočná zaangažovanosť mala priniesť väčšiu mieru gestikulácie.

S cieľom udržania čo možno najprirodzenejšieho prejavu účastníkov im neboli poskytnuté informácie o cieľoch samotného experimentu, aby sme neovplyvnili povahu a množstvo generovaných gest [6].



Obr. 2 Ukážka prostredia a priebehu nahrávania

Na anotáciu vyhotovenej databázy bol použitý voľne dostupný anotačný nástroj Anvil. Ponúka viacvrstvovú anotáciu založenú na užívateľsky definovanej schéme kódovania.



Obr. 3 Náhľad prostredia anotačného softvéru Anvil

Dĺžka trvania vytvoreného korpusu SloGest je približne 65 minút, pričom bolo zapojených 13 rečníkov. V korpuse sme identifikovali 657 gest.

#### IV. ANALÝZA

##### A. Analýza frekvencie gestikulačných fráz

Celkový počet identifikovaný gest je 657. Frekvencia typov gestikulačných fráz je uvedená v Tab. 1.

Tabuľka č.1  
 Výsledky analýzy kategórii gestikulácie SloGEST

|             | 1.úloha |      | 2.úloha |      | 3.úloha |      | Spolu |      |
|-------------|---------|------|---------|------|---------|------|-------|------|
| Motorické   | 134     | 62%  | 183     | 60%  | 69      | 53%  | 386   | 59%  |
| Ikonické    | 27      | 12%  | 63      | 21%  | 13      | 10%  | 106   | 16%  |
| Metaforické | 0       | 0%   | 0       | 0%   | 4       | 3%   | 4     | 1%   |
| Deiktické   | 56      | 26%  | 56      | 18%  | 40      | 31%  | 152   | 23%  |
| Symbolické  | 0       | 0%   | 4       | 1%   | 3       | 2%   | 9     | 1%   |
|             | 217     | 100% | 306     | 100% | 129     | 100% | 657   | 100% |

Výsledky analýzy frekvencie typov gestikulačných fráz boli porovnané s výsledkami v anglickom a ruskom jazyku [1][7]. V prípade anglicky hovoriacich účastníkov boli výsledky veľmi podobné výsledkom v slovenčine s menšími obmenami, ktoré môžu byť zapríčinené povahou samotných úloh (na rozdiel od slovenčiny bolo použitých celkovo 44% ikonických gest). V prípade ruského jazyka dominovali ikonické gestá, čo môže naznačovať väčšiu neverbálnu aktivitu na strane rečníka v tomto jazyku. Rozdiely s výsledkami v [1][7] a výskumom realizovaným za pomoci databázy SloGest môžu byť úzko spojené s obsahom jednotlivých príbehov alebo frekvenciou gestikulácie, ktorá je závislá od povahy samotného jazyka. Jeden z možných faktorov ovplyvňujúcich výsledky je aj počet gestikulačných fráz a teda rozdiel vo veľkosti jednotlivých analyzovaných audiovizuálnych databáz.

##### B. Časová analýza

Časová analýza prepojenia slov a gestikulačných fráz poukázala na to, že hlavná fáza gestikulačnej frázy - takt stále prebieha a končí synchronne so sémanticky pridruženým slovom alebo súborom slov. Časové odchýlky v rozmedzí 100 až 200ms nastávali v prípadoch neistoty pri výpovedi resp. ak subjekt hľadal správny výraz alebo ak si bol subjekt neistý výpoveďou. Po tejto udalosti výpoveď pokračovala rovnakým druhom gestikulácie a opätovnou časovou synchronizáciou multimodálnej komunikácie.

#### V. DISKUSIA A ZÁVER

Cieľom našej práce v oblasti generovania multimodálneho správania je aplikovať poznatky získané na základe pozorovania ľudských participantov na robota NAO. Vnímame fakt, že vytvorenie prirodzenej interakcie medzi robotom a človekom je veľmi dôležité, ak rečový a gestikulačný prejav robota sú čo najviac prirodzené, teda sa čo najviac podobajú na prirodzený rečový prejav u človeka. Ako zvlášť dôležité sa javí správne načasovanie produkcie gest počas rečového prejavu.

Cieľom vytvorenia korpusu SloGest bolo teda vykonať analýzu rečových prejavov človeka s prirodzenou gestikuláciou pre slovenský jazyk, ktorá by nám umožnila lepšie pochopiť model produkcie gest a preniesť ho na robota NAO. Prvotná analýza viedla k nasledujúcim poznatkom:

- **Časovanie.** Jeden z dôležitých aspektov generovania multimodálneho výstupu z pohľadu vierohodnosti je správna synchronizácia hlavnej časti gestikulačnej frázy – taktu. Takt by mal byť uskutočnený počas sémanticky významného, a teda sémanticky prepojeného slova alebo segmentu slov na gestikulačnú jednotku. Pre najväčší stupeň vierohodnosti by sa mala časová odchýlka začiatku pohybovať od 100 do 200 ms a koniec gestikulačnej fázy by mal byť vzhľadom na čas totožný s koncom rečového výstupu popisovaného segmentu.
- **Vhodný výber druhu gestikulácie podľa sémantického významu.** Vzhľadom na celkový cieľ komunikácie, ak sa jedná o rozprávanie príbehu, odporúča sa zvýšenie generovania ikonických gest. V prípade ak sa jedná o konverzáciu, v ktorej sa predkladajú nové nápady alebo riešenia odporúča sa zvýšenie generovania metaforických gest. Ak je najdôležitejším bodom vyslovovaných viet smer – odporúča sa použiť deiktický druh gestikulácie. Počas celej dĺžky konverzácie by mali byť prítomné motorické gesta, ktoré sú v bežnej komunikácii najfrekvencovanejšie používané.
- **Opakovanie rečových segmentov.** Ak dochádza k opakovaniu slov, nachádzajúcich sa v rámci jednej vety, odporúča sa používať opakovanie súvisiacej gestikulácie. Vzhľadom na celú konverzáciu, ak sa hlavný bod konverzácie opakuje viackrát, gestikulácia sa zvykne objaviť iba pri prvej iterácii. Opakovanie motorického typu gest je vhodné pre výpovede, v ktorých sa robotický systém snaží popísať istú formu zoznamu – za sebou idúce krátke rečové segmenty.
- **Vhodná frekvencia gestikulácie** – Neprimerane vysoká frekvencia gestikulácie môže vyvolať pocit neprirodzenosti.

## VI. POĎAKOVANIE

Túto prácu čiastočne podporila Agentúra pre výskum a vývoj na základe zmluvy č. APVV SK-TW-2017-0005 a APVV-15-0517, čiastočne Kultúrna a edukačná grantová agentúra MŠVVaŠ SR z projektu KEGA 009TUKE-4/2019 a čiastočne Vedecká grantová agentúra realizáciou výskumného projektu VEGA 1/0511/17 financovaného z prostriedkov Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR.

## LITERATÚRA

- [1] D. McNeill, *Hand and Mind*. The University of Chicago Press, Chicago, (1992).
- [2] QUEK, Francis, et al. Multimodal human discourse: gesture and speech. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 2002, 9.3: 171-193.
- [3] KENDON, Adam. Current issues in the study of gesture. *The biological foundations of gestures: Motor and semiotic aspects*, 1986, 1: 23-47.
- [4] DE RUITER, Jan Peter. Postcards from the mind: The relationship between speech, imagistic gesture, and thought. *Gesture*, 2007, 7.1: 21-38.
- [5] KRAUSS, Robert M.; CHEN, Yihsiu; GOTFEXNUM, Rebecca F. 13 Lexical gestures and lexical access: a process model. *Language and gesture*, 2000, 2: 261.
- [6] COOK, Susan Wagner; YIP, Terina KuangYi; GOLDIN-MEADOW, Susan. Gesturing makes memories that last. *Journal of memory and language*, 2010, 63.4: 465-475.
- [7] NIKOLAEVA, Yulia. Speech-accompanying gestures in Russian: functions and verbal context. In: *Proceedings of the Third Workshop on Vision and Language*. 2014. p. 82-86.

# Detekcia spájania galaxií pomocou metód hlbokého učenia

<sup>1</sup>Eduard Pizur, <sup>2</sup>Viera Maslej Krešňáková, <sup>3</sup>Peter Butka

<sup>1,2,3</sup>Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup> eduard.pizur@student.tuke.sk <sup>2</sup> viera.maslej.kresnakova@tuke.sk,  
<sup>3</sup>peter.butka@tuke.sk

**Abstrakt** – Príspevok je zameraný na detekciu spájania galaxií pomocou konvolučných neurónových sietí. Modely boli vytvorené dvoma spôsobmi. Prvou metódou bol *Transfer learning* (konvolučné neurónové siete, ktoré boli natrénované na obrázkoch z bežného sveta) a druhou metódou bolo tréningovanie od začiatku. Ukázalo sa, že obe metódy sú odolné voči šumu a deformáciám, a môžu sa aplikovať priamo, bez predspracovania vstupných obrázkov s dostatočnou presnosťou. Zväčšením datasetu, napríklad jednoduchou rotáciou, však vieme získať 100% presnosť klasifikácie.

**Príučové slová** – astrofyzika, konvolučná neurónová sieť, transfer learning, spájanie galaxií

## I. ÚVOD

Hlboké učenie (angl. Deep learning, skr. DL) je špecifická podtrieda strojového učenia (angl. Machine Learning, skr. ML). DL prináša pohľad na učenie sa pomocou po sebe idúcich vrstiev. Početnosť vrstiev, ktorá sa využíva v modeli sa nazýva hĺbka modelu. Moderné DL modely obsahujú desiatky až stovky po sebe nasledujúcich vrstiev. Tieto vrstvy sú naučené pomocou modelov nazývaných neurónové siete. Termín neurónová sieť pochádza z neurobiológie, kde celý koncept je inšpirovaným biologickým neurónom [1].

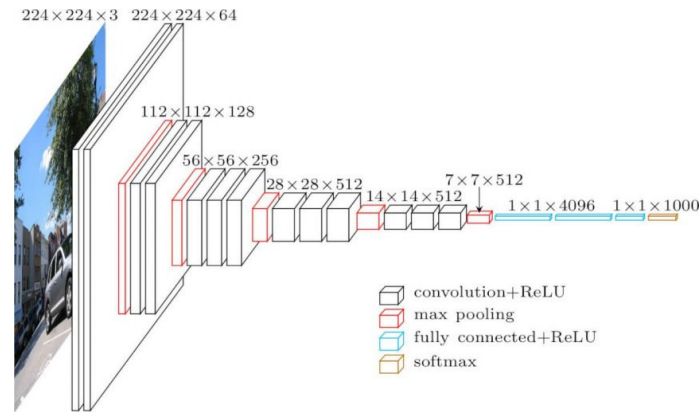
Naše modely sú založené na konvolučných neurónových sieťach, preto si ich v krátkosti popíšeme. Konvolučné neurónové siete (angl. Convolutional neural network, skr. CNN) sú špeciálnym druhom neurónových sietí, ktoré sa využívajú na spracovanie dát. Tieto dáta sú interpretované vo forme matic. Medzi dáta môžu patriť údaje časových radov vo forme 1-D matice, ktorá obsahuje hodnoty v pravidelných časových intervaloch. Taktiež medzi dáta môžu patriť obrázky, ktoré možno považovať za 2-D maticu zostavenú z jednotlivých pixelov obrázka. CNN sú v praxi veľmi úspešné. Názov týchto sietí označuje, že sieť využíva matematickú operáciu zvanú konvolúcia. Táto funkcia je špeciálny druh lineárnej operácie. Konvolučné siete sú v jednoduchosti neurónové siete, ktoré používajú konvolúciu namiesto všeobecného násobenia matic aspoň v jednej z ich vrstiev [2].

Pri experimentoch sme používali framework MATLAB Deep Learning Toolbox. MATLAB ponúka špecializovaný nástroj pre prácu so strojovým učením, neurónovými sieťami, počítačovým videním a automatizovaným riadením. MATLAB tiež umožňuje používateľom generovať vysoko výkonný kód CUDA pre aplikácie hlbokého učenia z MATLAB kódu [3].

### A. Tréningovanie

Na tréningovanie takejto neurónovej siete sa využívajú 2 základne spôsoby a to tréningovanie od začiatku alebo *Transfer learning*. Na tréningovanie od začiatku je potrebné mať veľmi veľké označené dátové množiny a vhodnú architektúru modelu, ktorá by vedela naučiť sieť. Toto riešenie je vysoko časovo náročné a potrebuje veľkého množstva dát. Naša práca sa zameriava na *Transfer learning* a porovnanie rôznych existujúcich modelov, ktoré boli tréningované na obrázkoch z reálneho sveta. V týchto modeloch sme zmenili posledné 3 vrstvy a preučili ich na astronomické dáta. Naša klasifikácia je binárna, teda rozhodujeme či na obrázku sa spájajú galaxie alebo nie. Nakoľko všetky experimenty boli na základe *Transfer learning*, v nasledujúcom oddieli si bližšie tento spôsob modelovania popíšeme.

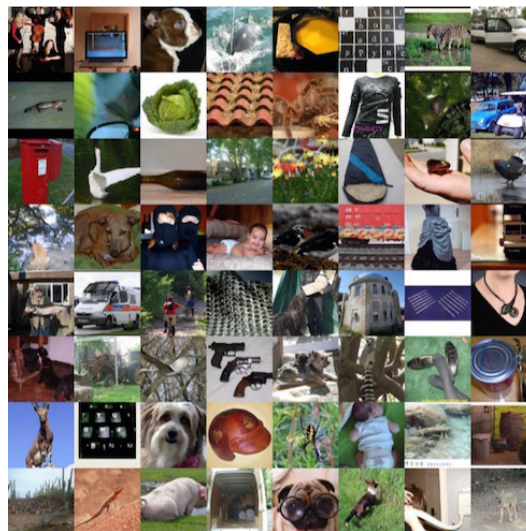




Obr. 1 Architektúra siete VGG16

### B. Transfer learning

*Transfer learning* je populárnou metódou v počítačovom videní, pretože nám umožňuje vytvárať presné modely za krátky čas. Namiesto toho, aby sa proces učenia začal od nuly, začínate od vzorov, ktoré sa naučili pri riešení iného problému. V praxi to znamená, že sa využívajú predtrénované modely, ktoré boli trénované na veľkej množine dát zvaných ImageNet [4]. Tento dataset obsahuje obrovské množstvo obrázkov z reálneho sveta. Ukážka dát z ImageNet je zobrazená na Obr. 2. Na tomto datasete boli vytvorené uznávané modely ako GoogleNet, AlexNet, InceptionV3, VGG16 (Obr.1) či ResNet18, ktoré sme použili aj v tejto práci. Komplexný prehľad všetkých modelov je dostupný v práci [5].



Obr. 2 Ukážka datasetu ImageNet [4]

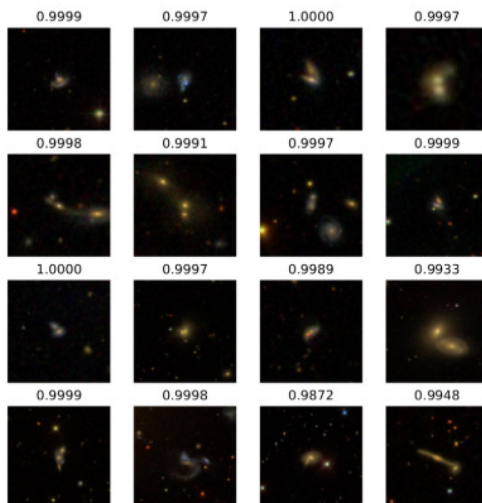
Naše dáta pochádzajú z digitálneho prieskumu oblohy, ktorý je známy pod názvom *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS) [6]. SDSS patrí medzi najambicióznejší astronomický prieskum. Jeho ambícia spočíva v mapovaní jednej štvrtiny celej oblohy, schopnosti určiť pozíciu a absolútny jas stoviek miliónov vesmírnych telies a meraní vzdialeností k viac ako miliónu galaxií a kvasarom. Projekt Galaxy ZOO, označil pozitívne a negatívne snímky, ktoré sme využili na tréning modelov. Detekciu spájania galaxií na astronomických snímkach sa venovali v [7], [8], [9], avšak metódy hlbokého učenia aplikovali na tento problém až v práci [10]. Naša práca sa snažila vylepšiť úspešnosť, presnosť a návratnosť pri detekcii spájania galaxií na rovnakom datasete, avšak použitím iných modelov *Transfer learningu*. Ukážka klasifikovaných dát je na Obr. 3.

Z uvedených obrázkov Obr. 2 a Obr. 3, je zrejmé, že ideme trénovať a klasifikovať typovo absolútne odlišné obrázky avšak rovnakým modelom z hľadiska jeho architektúry.

## II. POROVNANIE MODELOV KONVOLUČNÝCH NEURÓNOVÝCH SIETÍ

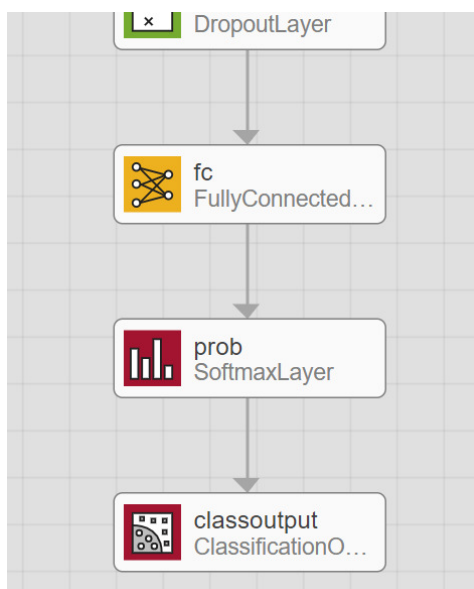
Ako prvé je potrebné zmeniť posledné dve vrstvy v danej sieti a to plne prepojenú a klasifikačnú vrstvu (viď Obr. 4), z toho dôvodu, že dané siete sú natrénované na klasifikáciu 1000 tried. My





Obr. 3 Ukážka vstupných dát [10]

potrebujeme na výstupe dostať 2 triedy, a to či sa galaxie spájajú alebo spolu neinteragujú.



Obr. 4 Posledné vrstvy siete AlexNet

V prvom experimente sme použili pôvodnú dátovú množinu [10] a otestovali modely GoogleNet, AlexNet, InceptionV3, VGG16 a ResNet18. V tomto experimente testovacia množina obsahovala 1600 obrázkov. Výsledky sú uvedené v tabuľke 1.

| Názov siete | Trénovacia presnosť | Chyba  | Testovacia presnosť |
|-------------|---------------------|--------|---------------------|
| AlexNet     | 93,04%              | 0,1830 | 94,50%              |
| GoogleNet   | 95,89%              | 0,1324 | 94,81%              |
| InceptionV3 | 97,86%              | 0,0831 | 95,13%              |
| ResNet18    | 96,07%              | 0,1362 | 95,13%              |
| VGG16       | 95,98%              | 0,1252 | 94,56%              |

Tabuľka 1  
 Výsledky daných sietí na nerozšírenej množine obrázkov

Ako môžete vidieť v Tabuľke 1 hodnoty pre presnosť (precision), návratnosť (recall) a F1 mieru (F1 score) nepresahovali výsledky [10]. Preto sme sa rozhodli zväčšiť dátovú množinu, a to tak, že sme každý jeden obrázok rotovali o 90, 180 a 270 stupňov. Počet obrázkov sa tak štvornásobne zvýšil – na 6400 obrázkov. Tým sme zabezpečili veľké množstvo dát na tréningovanie.

Následne sme získali výsledky uvedené v Tabuľke 2, kde môžete vidieť chybu a presnosť na tréningovej a testovacej množine.

| Názov siete | Tréningová presnosť | Chyba  | Testovacia presnosť |
|-------------|---------------------|--------|---------------------|
| AlexNet     | 100%                | 0,0003 | 99,97%              |
| GoogleNet   | 99,91%              | 0,0009 | 99,95%              |
| InceptionV3 | 99,98%              | 0,0010 | 99,92 %             |
| ResNet18    | 100%                | 0,0005 | 99,98%              |
| VGG16       | 100%                | 0,0007 | 99,98%              |

Tabuľka 2  
 Výsledky daných sietí na rozšírenej množine obrázkov

Pre porovnanie s výsledkami, ktoré dostali [10] a modelmi natrénovanými na nerozšírenej dátovej množine sme potrebovali vypočítať presnosť 1, návratnosť 2 a F1 mieru 3. Tieto hodnoty sme získali z kontingenčnej tabuľky presnosti klasifikácie, resp. chybovej matice.

$$Precision = \frac{TruePositive}{TruePositive + FalsePositive} \quad (1)$$

$$Recall = \frac{TruePositive}{TruePositive + FalseNegative} \quad (2)$$

$$F1score = 2 * \frac{Precision * Recall}{Precision + Recall} \quad (3)$$

V Tabuľke 3 je príklad kontingenčnej tabuľky výsledkov klasifikácie (výstup z programu Matlab), konkrétne výsledok siete ResNet18 na rozšírenej množine dát, kde je len jeden prípad falošne negatívneho výsledku. V Tabuľke 4 je taktiež kontingenčná tabuľka výsledkov klasifikácie na pôvodnej množine dát.

|                    | True Positive | True Negative |
|--------------------|---------------|---------------|
| Predicted Positive | 2400          | 1             |
| Predicted Negative | 0             | 3999          |

Tabuľka 3  
 Kontingenčná tabuľka pre resnet18 s rozšírenými dátami

|                    | True Positive | True Negative |
|--------------------|---------------|---------------|
| Predicted Positive | 561           | 39            |
| Predicted Negative | 39            | 961           |

Tabuľka 4  
 Kontingenčná tabuľka pre ResNet18 s pôvodného datasetu

Na základe uvedených výpočtov sme získali hodnoty, ktoré sú zhrnuté v tabuľke 5. Z výsledkov je zrejmé, že zväčšením datasetu sme získali takmer 100% presnosť klasifikácie pri všetkých modeloch. Prekonali sme tak výsledky práce [10] v každej sledovanej metrike.

| Pôvodná množina dát   |           |        |          |
|-----------------------|-----------|--------|----------|
|                       | Precision | Recall | F1 score |
| Alexnet               | 0,9339    | 0,9183 | 0,9261   |
| GoogleNet             | 0,9316    | 0,9300 | 0,9308   |
| InceptionV3           | 0,9350    | 0,9350 | 0,9350   |
| ResNet18              | 0,9350    | 0,9350 | 0,9350   |
| VGG16                 | 0,9268    | 0,9283 | 0,9276   |
| Rozšírená množina dát |           |        |          |
|                       | Precision | Recall | F1 score |
| AlexNet               | 0,9992    | 1,0000 | 0,9996   |
| GoogleNet             | 0,9992    | 0,9996 | 0,9994   |
| InceptionV3           | 0,9992    | 0,9988 | 0,9990   |
| ResNet18              | 0,9996    | 1,0000 | 0,9998   |
| VGG16                 | 0,9996    | 1,0000 | 0,9998   |
| V práci [10]          | 0,97      | 0,96   | 0,97     |

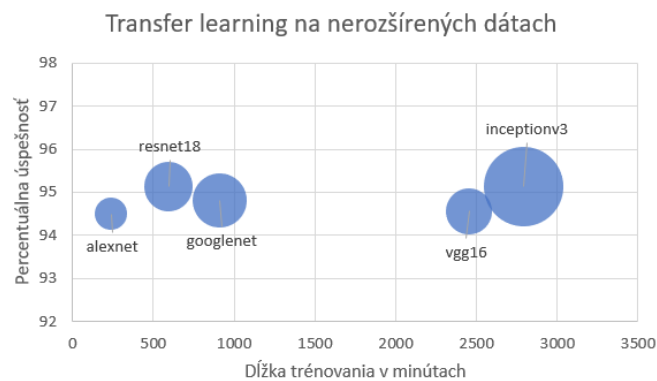
Tabuľka 5  
 Porovnanie výsledkov jednotlivých modelov a výsledkov, ktoré dosiahli v [10]

Pre porovnanie uvádzame aj graf 5 vytvorený z pôvodnej množiny dát, kde veľkosť bodu v grafe reprezentuje veľkosť danej siete, os  $x$  uvádza dĺžku tréovania v minútach a os  $y$  percentuálnu úspešnosť. Pri rozšírenej množine dát bola presnosť 100%, takže používateľ si má možnosť vybrať model, pričom tréovací čas samozrejme závisí aj od hardvérového vybavenia použitého počítača.

### III. ZÁVER

V tejto práci sme ukázali veľmi účinný spôsob detekcie spájania galaxií pomocou konvolučných neurónových sietí metódami *Transfer learning*. Použili sme 5 existujúcich modelov, ktoré boli vytvorené na klasifikáciu bežných obrázkov z datasetu ImageNet [4] a preučili ich na astronomických obrázkoch. V prvom experimente sme využili obrázky z SDSS, na ktorých účastníci projektu Galaxy ZOO označili pozitívne a negatívne snímky. Tento dataset bol použitý aj v práci [10]. Snažili sme sa porovnať veľkosť, rýchlosť učenia a prekonať presnosť týchto sietí. V druhom experimente sme danú dátovú množinu zväčšili rotovaním daných obrázkov a opäť preučili existujúce modely a získali sme takmer 100% úspešnosť u všetkých použitých modeloch. Je teda zrejme, že použitá metóda je :

- 1) je dostatočne odolná voči šumu a transformáciám na astronomických obrázkoch,
- 2) dostatočne robustná na natréovanie modelu aj s malým datasetom
- 3) a pri jednoduchom zväčšení datasetu rotovaním, dosahuje výsledky, ktoré prekonal predchádzajúce dostupné výsledky.



Obr. 5 Graf znázorňujúci vlastnosti vytvorených modelov

### POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporená grantom – Slovak VEGA grant no. 1/0493/16.

### REFERENCIE

- [1] F. Chollet, *Deep Learning with Python*, 1st ed. Greenwich, CT, USA: Manning Publications Co., 2017.
- [2] I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, *Deep Learning*. MIT Press, 2016, <http://www.deeplearningbook.org>.
- [3] Nvidia. (2019) Deep learning frameworks. [Online]. Available: <https://developer.nvidia.com/deep-learning-frameworks>
- [4] Jia Deng, Wei Dong, R. Socher, Li-Jia Li, Kai Li, and Li Fei-Fei, "ImageNet: A large-scale hierarchical image database," in *2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2009.
- [5] A. Canziani, A. Paszke, and E. Culurciello, "An analysis of deep neural network models for practical applications," *CoRR*, vol. abs/1605.07678, 2016. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1605.07678>
- [6] D. G. York and col., "The sloan digital sky survey: Technical summary," *The Astronomical Journal*, vol. 120, no. 3, pp. 1579–1587, sep 2000.
- [7] A. D. Goulding, J. E. Greene, R. Bezanson, J. Greco, S. Johnson, A. Leauthaud, Y. Matsuoka, E. Medezinski, and A. M. Price-Whelan, "Galaxy interactions trigger rapid black hole growth: An unprecedented view from the Hyper Suprime-Cam survey," *Publications of the Astronomical Society of Japan*, vol. 70, no. SP1, 12 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1093/pasj/psx135>
- [8] S. Cotini, E. Ripamonti, A. Caccianiga, M. Colpi, R. Della Ceca, M. Mapelli, P. Severgnini, and A. Segreto, "The merger fraction of active and inactive galaxies in the local Universe through an improved non-parametric classification," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 431, no. 3, pp. 2661–2672, 03 2013. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1093/mnras/stt358>
- [9] C. Hoyos, A. Aragón-Salamanca, M. E. Gray, D. T. Maltby, E. F. Bell, F. D. Barazza, A. Böhm, B. Häußler, K. Jahnke, S. Jogee, K. P. Lane, D. H. McIntosh, and C. Wolf, "A new automatic method to identify galaxy mergers – I. Description and application to the Space Telescope A901/902 Galaxy Evolution Survey," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 419, no. 3, pp. 2703–2724, 01 2012. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2011.19918.x>
- [10] S. Ackermann, K. Schawinski, C. Zhang, A. K. Weigel, and M. D. Turp, "Using transfer learning to detect galaxy mergers," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 479, no. 1, pp. 415–425, 05 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1093/mnras/sty1398>

# Analýza energetického zabezpečenia pre kláštor Krásny Brod

<sup>1</sup>Patrik KANCÍR, <sup>2</sup>Dušan MEDVEĎ

<sup>1,2</sup> Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>patrik.kancir@student.tuke.sk, <sup>2</sup>dusan.medved@tuke.sk

**Abstrakt** — Článok pojednáva o návrhu vykurovacieho systému pre Monastyr Krásny Brod pri jej aktuálnom stave. V budove sú aktuálne implementované niektoré druhy energetických zdrojov, ku ktorým je požiadavka pridať ďalší energetický zdroj v podobe tepelného čerpadla vzduch-voda. Tento príspevok popisuje aktuálny stav energetických zdrojov v budove, opis budovy a jej parametre, ktoré sú potrebné pre výpočet tepelných strát budovy. Na ich základe sa stanovuje tepelný zdroj k súčasným podmienkam. Výsledkom analýzy energetických potrieb je výber konkrétneho druhu a typu tepelného zdroja.

**Kľúčové slová** — tepelné čerpadlo, tepelné straty budovy, vykurovanie

## I. SÚČASNÝ STAV BUDOVY MONASTYR KRÁSNY BROD

Monastyr Krásny Brod sa nachádza na pozemku Rádu sv. Bazila Veľkého v obci Krásny Brod, neďaleko okresného mesta Medzilaborce. Stavba bola postavená s cieľom vytvoriť ubytovacie a prevádzkové priestory pre potreby Rádu sv. Bazila Veľkého v Prešove. Je to trojpodlažná, čiastočne podpivničená dvojtraktová budova, prepojená jednotraktom so schodišťom. Budova bola postavená z klasických stavebných materiálov. [1]

Na pozemku sa taktiež nachádza gréckokatolícky monastiersky chrám Zoslania Ducha Svätého, ktorý slúži pre bohoslužby, obety a modlitby miestnych baziliánov. Tento chrám je napojený na Monastyr prostredníctvom tepelného vykurovania. Oba objekty sú napojené na všetky potrebné inžinierske siete, ktoré sa nachádzajú na pozemku.

Budova Monastyru má v súčasnej dobe dva energetické zdroje. Jedným zdrojom je kondenzačný plynový kotol značky Junkers s výkonom 25 kW. Druhým zdrojom je kotol na tuhé palivo značky Defro s výkonom 45 kW. Budova má 4 vykurovacie vetvy: 1 – prízemie, 2 – poschodie, 3 – chodby, 4 – kostol, vzdialený 70 m od budovy monastyru (podlahové kúrenie).

Monastyr Krásny Brod a monastiersky chrám sa vykurojú len počas vykurovacej sezóny. Počas nej je hlavný vykurovacím zdrojom kotol na tuhé palivo. Pri veľmi nízkych vonkajších teplotách počas zimy sa prikuruje plynovým kotlom. Počas bežnej prevádzky cez vykurovacie obdobie sa vykuruje prízemie budovy a druhé poschodie sa temperuje na 14 °C. Celá budova sa vykuruje len počas konania duchovných stretnutí. Počas leta sú oba tieto objekty nevykurované.

Teplá úžitková voda má vlastný tepelný zdroj, preto TÚV nie je predmetom tohto príspevku.



Obr. 1 Pohľad na budovu Monastyru Krásny Brod



Obr. 2 Monastiersky chrám Zoslania Ducha Svätého

## II. VÝPOČET TEPELNÝCH STRÁT

### A. *Principiálny algoritmus výpočtovej metódy*

Výpočtová metóda pre základné, uvažované prípady, bola založená na nasledujúcich predpokladoch:

- rozloženie teplôt (teplota vzduchu a výpočtová teplota) je rovnomerné;
- tepelné straty sú vypočítané pre podmienky ustáleného stavu za predpokladu konštantných vlastností/veličín, ako napr. teplôt, charakteristík stavebných konštrukcií, a pod.

Navrhovaný principiálny postup sa môže použiť pre základné, uvažované prípady, teda väčšinu budov [2]:

- ktorých výška miestnosti nepresahuje 5 m;
- ktoré sa vykurejú alebo o ktorých sa predpokladá, že sa vykurejú na požadovanú konštantnú teplotu;
- v ktorých sa predpokladá, že teplota vzduchu a tzv. operatívna teplota sú rovnaké.

### B. *Výpočet tepelných strát budovy*

Veľkosť tepelných strát budovy slúži ako vstupný údaj pre určenie potreby tepla na vykurovanie. Na tento účel postačuje jej určenie na základe tzv. obálkovej metódy podľa STN EN ISO 13789 (73 0563), ktoré sa opisuje ďalej. Na účely dimenzovania vykurovacích systémov však určenie tepelnej straty vyžaduje určité korekcie ďalej naznačeného postupu, napríklad podľa STN EN 12831-1 (06 0210), resp. STN EN 12831-3 (06 0237).

Tepelné straty budovy sú spôsobené prechodom tepla cez ohraničujúce konštrukcie vykurovaného priestoru a infiltráciou a/alebo vetraním. Merná tepelná strata sa udáva tepelným tokom z vykurovaného priestoru do vonkajšieho prostredia predeleným rozdielom teploty medzi vnútorným a vonkajším prostredím. Udáva sa tepelným tokom (tepelnou stratou) pri jednotkovom rozdieli teploty teda v jednotkách W/K. [3]

### C. *Vypočítané hodnoty tepelných strát podľa STN EN 12831-1 (06 0210)*

Vonkajšia teplota sa stanoví na základe lokality, kde sa budova nachádza. Teploty prostredia sú určené podľa normy STN EN 12831-1 (06 0210), kde sú dané najnižšie vonkajšie výpočtové teploty pre konkrétnu oblasť. V tomto prípade sa tepelné straty vypočítajú podľa normy STN EN 12831-1 (06 0210), pre klimatickú stanicu Svidník, pre ktorú je stanovená teplota  $-15^{\circ}\text{C}$ .

Pre výpočet tepelných strán boli vstupnými veličinami:

- vonkajšia výpočtová teplota pre danú oblasť;
- vnútorná výpočtová teplota (stanovená podľa požiadavky obyvateľov budovy);
- druh domu;
- rozmery stien;
- rozmery okien;
- rozmery budovy;
- hrúbka stavebných materiálov;
- súčiniteľ tepelnej vodivosti stavebných materiálov  $\lambda$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]

*Rozmery Monastyru Krásny Brod:*

- šírka: 45 m
- dĺžka: 12 m
- výška: 12 m
- vchod, kupola výška: 16 m
- okná: rôzne veľkosti a tvary, prevažne 1×1 m, 105 ks

*Poznámka:* Budova je len sčasti zateplená sklenenou vatou o hrúbke 10 cm. Na výstavbu boli použité klasické stavebne materiály.

*Rozmery monastierskeho chrámu Zoslania Ducha Svätého:*

- šírka: 12 m
- dĺžka: 6 m
- výška: 7 m
- okná: rôzne veľkosti a tvary, 14 ks

*Poznámka:* Na výstavbu boli použité klasické stavebné materiály.

TABUĽKA 1  
 Vypočítané hodnoty tepelných strát

|  | <b>Monastyr Krásny Brod</b> | <b>Monastiersky chrám<br/>Zoslania Ducha Svätého</b> |
|--|-----------------------------|--|
| Tepelná strata obvodovým múrom $\Phi_B$    | 54 765,03 W                 | 7336,33 W  |
| Tepelná strata základom budovy $\Phi_Z$    | 22050 W                     | 1124,31 W  |
| Tepelná strata vetraním $\Phi_V$           | 230,38 W                    | 173,93 W   |
| Tepelná strata strechou budovy $\Phi_S$    | 26455,81 W                  | 3636,74 W  |
| Tepelná strata okien $\Phi_O$              | 4620,01 W                   | 365,32 W   |
| Tepelná strata vonkajšími dverami $\Phi_D$ | 529,2 W                     | 408,32 W   |
| Celkovo $\Phi_{CB}$                        | 108 650,42 W                | 12 871,10 W  |

$$\Phi_{CB} = \phi_o + \phi_D + \phi_B + \phi_S + \phi_Z + \phi_V$$

*D. Výpočet celkových strát potrebných pre stanovenie tepelné zdroja*

$$\Phi_{\text{monastyr}} + \Phi_{\text{chrám}} = 108\,650,42 + 12\,871,10 = 121\,521,53 \text{ W} = 121,52 \text{ kW}$$

Tento výkon je potrebný počas vykurovacej sezóny za stavu počas absolútneho obsadenia budovy. Pre bežnú prevádzku, počas roka, hlavne v priebehu vykurovacej sezóny, je postačujúci polovičný výkon, vzhľadom na podmienku, že vykurovanie, ktoré je len v prízemí a 1. poschodie a kostol sa temperujú na teplotu 14 °C.

*E. Výber tepelného čerpadla*

Pre návrh a výber tepelného čerpadla boli uvažované viaceré faktory, ako sú variabilitnosť prevádzky s potrebným výkonom, rozmery (aby bolo možné čerpadlo umiestniť do súčasných priestorov), cena, dlhá životnosť. Spomedzi širokého spektra daných tepelných čerpadiel boli vybrané nasledovné čerpadlá zn. Hokkaido:

- HOKKAIDO HCSU 4504 XRV (vonkajšia jednotka) / HDSW 4500 XRV (vnútorná jednotka), v zapojení do dvojitej kaskády s celkovým výkonom 2×45 kW.
- HOKKAIDO HCSU 5004 XRV (vonkajšia jednotka) / HDSW 5000 XRV (vnútorná jednotka), v zapojení do dvojitej kaskády s celkovým výkonom 2×50 kW.

III. ZÁVER

Tento príspevok sa zaoberal výpočtom a výberom vhodného druhu a typu tepelného čerpadla pre zabezpečenie tepla pre kláštor Krásny Brod. Výber typu a druhu tepelného čerpadla bol vybraný aj na základe požiadavky prevádzkovateľov a súčasných obyvateľov monastyru.

Ako bolo uvedené v článku, ako energetický zdroj bolo zvolené tepelné čerpadlo typu vzduch/voda v kombinácii vonkajší vzduch. Medzi jeho hlavné výhody patrí:



- Tepelné čerpadlo vzduch/voda odoberá energiu priamo z vonkajšieho vzduchu a získané teplo využíva pre ohrev vody vo vykurovacom systéme.
- Daný typ tepelných čerpadiel vzduch/voda sú vhodnou voľbou pre rodinné domy, ktoré nemajú k dispozícii pozemok pre tepelné čerpadlo s plošným kolektorom.
- Jednoduchá a rýchla inštalácia, bez nárokov na veľkosť pozemku.
- Nižšie investičné náklady v porovnaní s tepelnými čerpadlami zem/voda.
- Jednoduché využitie pre chladenie v letnom období.
- Nízke prevádzkové náklady v porovnaní s elektrickým alebo plynovým vykurovaním.
- Takmer bezúdržbové a bezpracné vykurovanie v porovnaní s kotlami na drevo alebo uhlie.

Predmetné vybrané tepelné čerpadlo má pri svojej prevádzke aj určité nevýhody, medzi ktoré patrí [4]:

- Približne o 30 % vyššia spotreba elektriny ako pri tepelných čerpadlách typu zem/voda s plošným kolektorom.
- Možné problémy s hlučnosťou vonkajšej jednotky.
- Znížený výkon a výstupná teplota vykurovacej vody pri nízkych vonkajších teplotách.
- Kratšia životnosť kompresora ako pri tepelných čerpadlách typu zem/voda.

#### POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR a SAV podporenej grantom VEGA 1/0372/18 a tiež 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.

#### LITERATÚRA

- [1] Chemkostav, a.s., „Obytná budova Monastyr, Krásny Brod“, [online], Dostupné na internete: < <http://www.chemkostav.eu/referencie/obcianske-stavby/obytna-budova-monastyr,-krasny-brod.html> >
- [2] STN EN 12831-1 (06 0210): 03-2019. *Energetická hospodárnosť budov. Metóda výpočtu projektovaného tepelného príkonu. Časť 1: Tepelný príkon, Modul M3-3.*
- [3] Chmúrny, I., „*Stavebná tepelná technika. Základy tepelnej ochrany budov*“, Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2014. 303 s. ISBN 978-80-227-4147-7.
- [4] IVT Tepelná čerpadla s.r.o., „Vzduch/voda – vonkajší vzduch“, [online], Dostupné na internete < <https://www.ivt.sk/sk/tepelne-čerpadlo-vzduch-voda> >
- [5] Kancír, P., „*Analýza energetického zabezpečenia pre kláštor Krásny Brod*“, Bakalárska práca. Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2019.

# System for monitoring the movement of athletes

<sup>1</sup>Marek KRIŠTOF, <sup>2</sup>Dominik LAKATOS

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

<sup>1</sup>marek.kristof@student.tuke.sk, <sup>2</sup>dominik.lakatos@tuke.sk

**Abstract** – This paper deals with the system of monitoring the motion of sportsmen, which consist of three devices (two for the calf and one for the back), back-end and mobile application for Android and iOS. With making of this system a vast analysis has been made, which was crucial to build the device and analysis of data. The paper describes work progress on individual parts of the system, problems which came across and their solution. Moreover, paper describes complete process of obtaining data from sensors for the data analysis and presentation. Devices communicate with each other through Bluetooth technology. Data are sent from the device to the cloud back-end services via GPS module over the MQTT protocol. GPS sensor and accelerometer were used for monitoring of one's actions and movements. Data are being presented to user in form of heatmaps, lists of statistics and graphs through client mobile application. All things considered, this system has a potential to compete against existing professional devices and it serves as the foundation where more functionality, refinements and extensions can be developed. Aspects of the future development are stated within the evaluation of the thesis, with questions that need to be further discussed.

**Keywords** – Analysis of movement, ESP32, Mongoose OS, Accelerometer, GPS, Bluetooth, GSM

## I. INTRODUCTION

Nowadays, many people are interested in their health. Physical activity is inseparable part of good health. Sport activity is necessary for keeping our body in good condition. Especially, adolescents have to be led from beginning of their growth to heed on good regimen. Thanks to concurrent modern technologies, is possible to develop a system, which will be affordable for everyone, will be able to track sport activity and even create statistics by data from sensors. With booming of the Internet of Things is possible to design a device that can compete accurately with cameras to track motion. Unlike such a camera system, it brings significant benefits. For example, in terms of flexibility, the device does not depend on monitoring equipment in place. A small portable device could be used anywhere and anytime.

By creating this device, together with the automated data analysis system and its subsequent presentation, the young people could combine the trend of using modern technology with physical activity. This could lead to an improvement in youth health, reduction in diseases, improvement of physical and mental health, team building, happiness hormone leaching. As a result, it will increase interest in sporting activities, building new sports facilities, sporting goods needs, organizing new sporting events, reducing obesity, and last but not least, developing our company.

## II. RELATED WORK

Existing solutions [1], [2], [3], [4], [5] have provided list of sensors for monitoring of movement, which were deeply analysed. Thanks to analyse of the sensors, next phase of development was considered to analyse of data from these sensors.

Based on the study [6], for movement analysis GPS module is suitable to be used. Accuracy of this module can be comparable to light sensors, where results shown strong correlation between speed measured by light sensors and GPS sensors.

The authors of the work [7] Rampinini, E. et al. describe the comparison of the accuracy of two systems GPS with different sampling frequencies during runtime. As a criterion for accuracy, GPS devices were compared with the radar system. There were used two types of portable GPS devices (SPI-Pro, GPS-5 Hz and MinimaxX, GPS-10 Hz). GPS-5 Hz has recorded lower error rate



only for overall distance and moderate performance while for other variables they ranged from medium to high error. GPS-10 Hz has shown a low error rate for most variables. For very high speed and very high metabolic performance, sensor showed only moderate error. In general, the accuracy of GPS was increased with higher GPS the sampling rate of the device, but lowered with increasing motion speed. Only GPS-10 Hz has shown a sufficient level of accuracy to quantify the covered distances at higher speeds or times spent at very high performance.

Fong et al. [8] from the Chinese University of Hong Kong developed wireless motion detection with accelerometer of human movement in Cartesian space. Three-axis acceleration data were measured at one point in the human body and transmitted wirelessly in the laboratory. Accelerometer could detect motion properties such as resonance frequency, acceleration and monitor athlete's movement in detail.

Because of the fact that in sports activities, parts of the body often perform different activities. To get more specific information, you need to use a more devices that depend on sport (mainly legs are used in football). These devices need to communicate with each other. The good news is, as Sin Armstrong [9] as S.A stated in his work, nowadays, mobile phones, wireless Internet and wireless data transfer btw elec. devices. The best way how to provide internet everywhere is through GSM module with sim card. This module is suitable for sending data from device to presentation layer for storing to DB and data mining.

In the paper from [10] by Piyare and Tazil, there is presented cheap but flexible and secure automatized system. The design is designed for a separate Arduino BT board. Communication between mobile device and board is wireless and system is designed to be cheap and handy. Usage the microcontroller is promising solution for sensor management, data collection and communication management. Bluetooth technology can share data between microcontrollers. When compiling the system, the creators pointed out the problem of recognizing more devices in the room. This problem was fixed by pairing it with authorization.

Data Mining [11] can help athletes to analyze their workouts, predict how to adjust their next workouts, advise on nutrition and so on. Sports trackers monitor and analyse sport-activities. This requires a mobile device which contains a GPS device. GPS satellite information is temporarily stored in mobile device memory and then transferred to databases server over the Internet. The server can analyze this data, display graphs, and calculate various statistics. Using these methods it can automatically set predictions for trainings, injuries, and improving physical condition. Cheating in a sport is performed by doping. Using an automated personal trainer during the analysis of data athletes could be found any discrepancy in sudden improvement of their results, which could indicate that the athlete could have been banned substances.

Big data in the health sector is currently in effect hot topic [12]. Having said that, sports data from users are very much valuable and allow to assess the physical activity of the population. In the context of football, these data could be used for searching of new talents and finding out, how young players could be influenced. The ten thousands records from different parts of the country are strategic information that could be valuable to sports scouts.

#### A. Analysis of movement via accelerometer

The article [13] by Bao and Stephen describes analyzing studies based on data received from accelerometers. They used five biaxial accelerometers placed on four limbs and one on the side. Data was collected at a sampling rate of 76.5 Hz with a data window of 6.7 seconds. recorded said data has been sent to a mobile device for classification by means of machine learning algorithms (critical table and nearest neighbor) On one hand, the use of multiple sensors ensures greater accuracy, on the other hand, it requires more calculations and increased energy consumption.

Therefore, the researchers Trnqvist and Chalne chose the sampling frequency for their project [14] in the range of 15 to 20 Hz. They used a nonparametric method: periodogram. Data retrieved from built-in smartometer accelerometers are transversal evaluated. Four values were used for the calculation. A value of  $t$  representing relative time and values for acceleration in the X, Y and Z directions (see figure 1). Output  $v_t^x, v_t^y, v_t^z$  can be written in form 1.

$$v_t = v_t^* + \epsilon_t, \quad t = 1, 2, \dots, N, \quad v_t = [v_t^x, v_t^y, v_t^z]^T, \quad \epsilon_t \in R^3 \quad (1)$$

$\epsilon_t$  is a noise vector of independent, zero-oriented Gaussian random variable and variance  $\sigma^2$ , for which  $\epsilon_t \sim (0, \sigma_\epsilon^2 I^2)$  [15].

The noise in the data was first controlled by analyzing the sensation of the data, while the cellphone was on the table. The observations revealed that the X and Y axes were close to zero values, while the Z value was significantly different due to the force of gravity. For this reason, they clean data by applying a 5-order sliding average. Cleaned data is used for more accurate analysis.

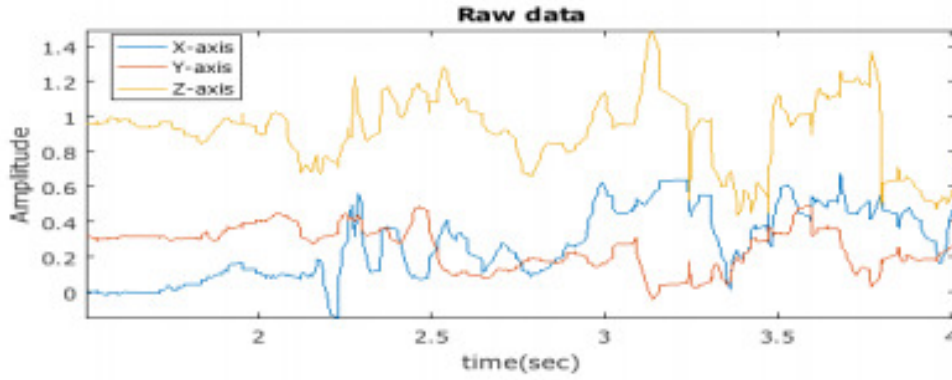


Fig. 1 Visualisation row data from accelerometer [14] for axes X, Y a Z in depends of time.

Subsequently, the scalar value from the vectors was calculated from the clean data according to the equation 2.

$$m_t = \|v_t\| = \sqrt{\{(v_t^x)^2 + (v_t^y)^2 + (v_t^z)^2\}}, t = 1, 2, \dots, N. \quad (2)$$

The 20 Hz sampling rate was sufficient to recognize walking, running, output and descending the stairs. Therefore, it seemed the most appropriate.

In article [16], based on the calculation of the number of steps, Neil Zhao expresses the parameter distance as a multiple of the number of steps and the average step distance. The average step distance depends on the speed and height of the user. Calculation runs every two seconds at 50 Hz. Based on the achieved distance and time interval of two seconds, we can express the speed as a proportion of distance and time. Based on speed, burned calories can be determined similarly as to that reported in the study. To express the average calories burned: Calories (C / kg / h) = 1.25 x speed (km / h), but this depends on other factors including body weight, activity intensity, condition and metabolism

### B. Analysis of movement via GPS

Another key to remember is, that you need to know latitude and longitude to determine your location. On the basis of [17] we can calculate the distance, azimuth and center between two points on the World. Most of the known formulas work on the principle of spherical Earth (ignoring ellipsoidal effects). Ultimately, it is sufficient for the majority of purposes (approximate error rate around 0.3%). Using the Haversin Algorithm [18] on calculating the distance we can determine the shortest distance above the Earth's surface (ignoring all the hills). The Haversin algorithm is shown by equations 3, 4 and 5, where  $\varphi_1$  is latitude,  $\varphi_2$  is latitude, R is radius the World.

$$a = \sin^2(\Delta\varphi/2) + \cos\varphi_1 \cdot \cos\varphi_2 \cdot \sin^2(\Delta\lambda/2) \quad (3)$$

$$c = 2 \cdot \operatorname{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}) \quad (4)$$

$$d = R \cdot c \quad (5)$$

Latitude and longitude could be used for generating heatmaps of movement. Heatmaps are interesting visualisations of user movement. Thanks o the Haversine Algorithm we can compare accuracy of analysis and modules.

## III. HARDWARE SOLUTION

Firstly, Arduino platform was used for the development. Because of lack of memory and problem with delay, management platform was changed. Chosen microcontroller ESP32 dispose multiply more memory and embedded bluetooth module. For development on microcontroller ESP32, operating system Mongoose OS for acceleration of development was chosen.

Furthermore, model MPU-6050 accelerometer was used to analyze acceleration and speed of motion. NEO-6M GPS module with antenna and built-in EEPROM for configuration storage was used for motion monitoring. External communication between the devices and the server was mediated by a module SIM 800L GPRS GSM module with helical antenna. The point to point protocol was used for the Internet connection (connection layer, abbreviation PPP). Configuration settings were added APN (Access Point Network) of provider of Internet, which were necessary

for PPP. The MQTT protocol was used to send data. It was in the configuration file you need to enable the MQTT protocol and set a name for the MQTT broker. For internal communication, bluetooth was used. What is more, it was necessary to configure the GATT Client / Server connection. Peripherals appear in this a connection as a GATT server that contains GATT search data definitions and characteristics services. The GATT client is the central device that sends requests to this server. All transactions are triggered by a central device GATT client, which then receives responses from peripherals, GATT servers. BLE peripherals can only be connected to one central device at a time, but the central device may be connected to multiple peripherals. Figure 2 shows a real prototype for back and calf equipment. Before prototyping in addition to the listed components, breadbord and jumper cables were used . At a later stage, the battery was powered directly on the GSM module, which has solved the problem of losing the Internet connection during development and testing of components.

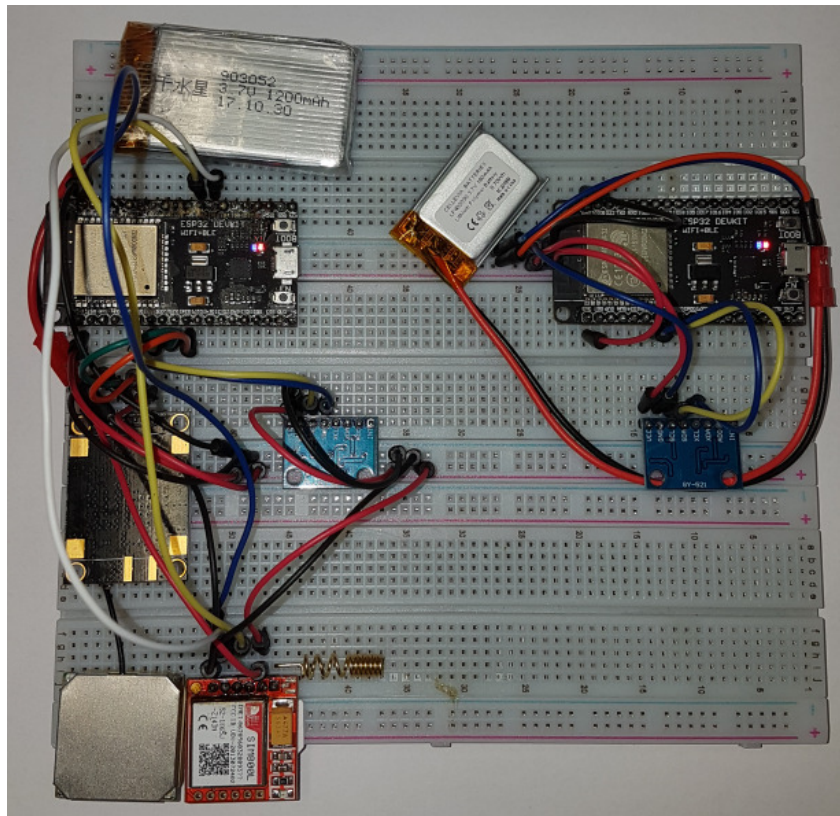


Fig. 2 Prototype of back device (left) and calf device (right) developed on breadbord.

#### IV. SOFTWARE SOLUTION

Client mobile application was developed for users. This application was developed in cross device platform Codename One technology. It ensures fast development for Android and iOS. CodenameOne include simulator for various devices. Problem occurred, when I would like to implement various charts and Heatmap. For this purpose I had to use BrowserComponent. Those visual components were developed in React and presented like web page in BrowserComponent.

Data collection, storage and analysis took place on the back-end part of the system. Moreover, Spring was chosen for the back-end solution. As the application server, Apache Tomcat was chosen. It is comparable to commercial products such as WebSphere Application Server from IBM, WebLogic Application Server from Oracle etc. Although these commercial products provide greater robustness than the Tomcat, and a more sophisticated security page, yet Tomcat stands out for simplicity and less computing power.

Activity was divided to five states. The duration of the activity was calculated based on the time stamps from the table of sessions. Since the time stamp is of Long type and represents time in milliseconds since 01.01.1970, the time stamps were divided into those that trigger the activity (with the enum value of "START" and "RESUME") and those that suspend activity (with enum value "PAUSE" and "STOP"). "CREATE" was ignored because it does not depend on the duration of the activity. Subsequently, the trigger values were time stamps multiplied by -1. The resulting value was summed up at all timestamps. This represented the activity time in milliseconds.

To secure login to the account, the authentication process is performed by user email and password. After creating the account, a password is created from the password using the cryptographic SHA256 function, where a password value imprint is used to create the imprint along with a randomly generated value. In the database, a random value is stored along with the mentioned impression. After logging in, the value of the printout stored in the database is compared with the printout created from the password and the user's random value in the database. When recovering a password, a new random value is generated along with a new password. The password is then sent to the user by email. Same procedure is used to update the password, except that the user enters the password. The processes described in the analysis were used for data mining.

Based on the speed, the average and maximum speed for aggregated data were calculated. There was a problem if the user stood at one place for a long time. Whereupon its average speed of activity was significantly reduced. Whether the static position of user should be considered, is the question that need to be examined in the future.

## V. EVALUATION AND RESULTS

GSM module demonstrate sufficient results when sending data. However, the Bluetooth 5.1 technology is more fitting, because its potential distance of being able to work is up to 200m. On one hand, Bluetooth module would be more expensive, but on the other hand we do not have to spend money for bills of mobile data. Discharging a LiPo battery has shown that this type of battery is not fully suitable to discharge, because the battery will be not working. For fix this problem we could use appropriate announcement by sound form or visual form by using led diods that will notificcate that batery is on the verge of discharging.

During development, it was found that the ESP32 module is sensitive to electrical supplies energy. Due to frequent internet outages connection, the battery was soldered directly to the GSM module to solve the problem.

What is more, during the development, the 20HZ frequency was tested to collect data from the accelerometer and simultaneously 5Hz for GPS. In this configuration, there were problems and equipment was disconnected from the Internet. A data collection trigger has created a function that, when connected to the Internet, initiates the sensor initialization and then starts collecting data. This served as a partial solution to the problem. Functionality it is advised to extend by implementing connection loss treatment. During this state, data would wait in queue until they can be sent. Given the innacuracy of the GPS module, it is worth to consider more accurate, but more expensive model of the GPS module, which would be more exact during bad weather.

Selected NEO-6M module has shown great sensitivity with regard to weather, which has been reflected in correct results. Figure 3 shows the heatmap of activity without cloudiness and figure 4 shows the heatmap of activity during increased cloudiness. Red squares define the area where the user was actually moving

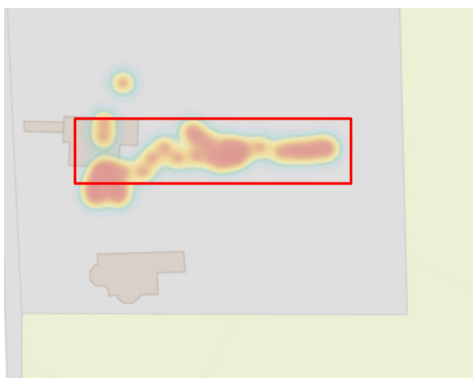


Fig. 3 Heatmap of activity without cloudiness.



Fig. 4 Heatmap of activity during increased cloudiness.

Changing state of activity is executed by client mobile application. Provided that user has mobile phone next to sport area, he has to physically come to pick up mobile phone and change state by pressing button in application. From the perspective of flexibility, this is a totally inappropriate solution. To optimize this defect, it's more practical to place a state change button on the device. Feedback could be provided by LED .



For the future continue, it is planned to change the type of data sent from JSON format to a binary type that would contribute to increasing frequencies. Sensor accelerometer provided enough results, but the GPS module should be replaced with a more correct one.

System development has reached the point where an administrative interface is required to manage user and device data. Also it is advised to implement for continuation device management along with pairing devices to the player through mobile app. Real-time statistics have a great perspective. In the present state, real-time data is sent as much as a significant advantage compared to many competing devices. It is assumed that the analysis of the steps has laid the foundation for extended analyzes, such as shots, slides and dribbling. For future development it could be oriented in this direction. To increase motivation, it would be interesting to add different awards for the goals achieved. To give an illustration, a prize bookmark such as a bronze medal for reached maximum speed of 15 km/h, silver medal could be added to the profile for reached 20km/h and golden for reached 25km/h.

## REFERENCES

- [1] *VX Sport*, 2019, <https://www.vxsport.com/the-vx-system/>.
- [2] S. Group, *StatSports*, 2019, <https://statsports.com/apex/>.
- [3] *PlayerTrek*, 2019, <https://www.playertek.com/eu/playertek/>.
- [4] H. Co., *ZeppPlay Soccer*, 2019, <http://www.zepp.com/en-us/soccer/zepp-sensor-specifications/>.
- [5] *GPS Sport-Evo*, 2019, <https://www.catapultsports.com/products/gpsports-evo#>.
- [6] J. C. Barbero-Álvarez, A. Coutts, J. Granda, V. Barbero-Álvarez, and C. Castagna, "The validity and reliability of a global positioning satellite system device to assess speed and repeated sprint ability (rsa) in athletes," *Journal of Science and Medicine in Sport*, vol. 13, no. 2, pp. 232–235, 2010.
- [7] E. Rampinini, G. Alberti, M. Fiorenza, M. Riggio, R. Sassi, T. Borges, and A. Coutts, "Accuracy of gps devices for measuring high-intensity running in field-based team sports," *International journal of sports medicine*, vol. 36, no. 01, pp. 49–53, 2015.
- [8] D. T. Fong, J. Wong, A. H. Lam, R. H. Lam, and W. Li, "A wireless motion sensing system using adxl mems accelerometers for sports science applications," in *Fifth World Congress on Intelligent Control and Automation (IEEE Cat. No. 04EX788)*, vol. 6. IEEE, 2004, pp. 5635–5640.
- [9] S. Armstrong, "Wireless connectivity for health and sports monitoring: a review," *British journal of sports medicine*, vol. 41, no. 5, pp. 285–289, 2007.
- [10] R. Piyare and M. Tazil, "Bluetooth based home automation system using cell phone," in *2011 IEEE 15th International Symposium on Consumer Electronics (ISCE)*. IEEE, 2011, pp. 192–195.
- [11] I. Fister, D. Fister, and S. Fong, "Data mining in sporting activities created by sports trackers," in *2013 International Symposium on Computational and Business Intelligence*. IEEE, 2013, pp. 88–91.
- [12] J. Manyika, M. Chui, B. Brown, J. Bughin, R. Dobbs, C. Roxburgh, and A. H. Byers, "Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity," 2011.
- [13] L. BAO, "Intille, activity recognition from user-annotated acceleration data," in *International Conference on Pervasive 2004*. Springer-Verlag GmbH, 2004, pp. 1–17.
- [14] C. Törnqvist, "Walking movement detection using stationary stochastic methods on accelerometer data," 2017.
- [15] M. A. Alsheikh, A. Selim, D. Niyato, L. Doyle, S. Lin, and H.-P. Tan, "Deep activity recognition models with triaxial accelerometers," in *Workshops at the Thirtieth AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 2016.
- [16] N. Zhao, "Full-featured pedometer design realized with 3-axis digital accelerometer," *Analog Dialogue*, vol. 44, no. 06, pp. 1–5, 2010.
- [17] C. Veness, *The cosine-haversine formula*, 2019, <https://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>.
- [18] —, "Movable type scripts: calculate distance, bearing and more between latitude/longitude points," *online*, *Movable Type Scripts*, nd. Available at: <http://www.movabletype.co.uk/scripts/latlong.html> [Accessed: 10 Dec. 2016], 2012.

# User centered design in cloud-based teleoperation system for social robotics

<sup>1</sup>Daniel CHOVANEC, <sup>2</sup>Lukáš HRUŠKA, <sup>3</sup>Peter SINČÁK

<sup>1,2,3</sup> Department of Cybernetics and Artificial Intelligence, Faculty of Electrical Engineering and Informatics Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>daniel.chovanec@student.tuke.sk, <sup>2</sup>lukas.hruska@tuke.sk, <sup>3</sup>peter.sincak@tuke.sk

**Abstract** – This paper discusses the necessity of having a suitable user interface in a system designed for social robotics and proposes improvements to an already existing system to improve the user experience. To demonstrate the concept, however, we first need to explain the idea behind the Wizard of Oz and the architecture of the system, named CoWoOZ, which we want to update.

**Keywords** – cloud, robotics, user interface, Wizard of Oz

## I. INTRODUCTION

With the emergence of cloud computing, it became quickly obvious, that robotics could vastly benefit from this new concept. RoboEarth[1] is one of these applications, which allows robots to execute computationally heavy tasks in cloud as well as store and share information with others. This concept, however, comes at a cost - should the communication fail, the robot would be stripped of all capabilities provided by the cloud. Creating an artificial intelligence (AI) able to control the robot in human-robot interaction (HRI) is not a straightforward process. It is explained by [2] that people tend to attribute lifelike qualities to robots and antropomorphize them. To preserve this immersion, in the beginning of the design process, the AI has to be oftentimes completely replaced by a human operator during a HRI scenario, but with one key factor - the person interacting with the robot cannot be aware of this replacement. This type of interaction, usually named Wizard of Oz (WoZ) can be described as follows: “WoZ refers to a person (usually the experimenter, or a confederate) remotely operating a robot, controlling any of a number of things, such as its movement, navigation, speech, gestures, etc. WoZ may involve any amount of control along the autonomy spectrum, from fully autonomous to fully tele-operated, as well as mixed initiative interaction.” [3]

In spite of the fact, that HRI is the focal point of developing WoZ systems, we should not forget the user experience of the operator(s) responsible for the control of the system. Properly designed user interface (UI) may improve the focus of the operator, their reaction time, focus on the task and even the willingness to conduct the experiment itself. Therefore, in this paper we briefly outline the design of the system itself and afterwards explain proposed improvements to the user interface.

## II. CoWoOZ TELEOPERATION SYSTEM

There have already been several attempts to create a universal cloud-based teleoperation system, such as OpenWoZ[4] and RMS[5]. However, both that we mentioned here have their drawbacks, in case of RMS it is dependency on Robot Operating System (ROS)[6] which is, although widely supported, not generally accepted. While OpenWoZ does not impose such limitation, it only hosts its database in the cloud, but the remote control server is deployed directly on the robot, which, under most circumstances, makes it available only within the same subnetwork, de facto denying the operator global accessibility.

CoWoOZ (Cloud-based Wizard of Oz) is a teleoperation system developed by our department, which addresses some flaws of aforementioned systems, namely it uses true client-server architecture, therefore, it is not dependent on network topology and even though it does not rely on ROS, it is able to interface with it. Moreover, the system has been designed with modularity in mind and as such, can be easily expanded (or independent modules may be replaced). Most important of these modules are the following three:

- the server (backend) - which forms the backbone of the system and handles communication, database access and security
- user interface - out-of-the-box UI is designed for social interaction, such as cognitive exercises with elderly people, which follow set of prepared scenarios, but it can be replaced for other uses with another one utilizing the same API (application program interface)
- robot-side client - code-named “Wrapper”, this part of the system split in two - the universal, platform independent layer, responsible for the communication with the server and interfacing with the platform specific layer, which is responsible for the actual control of the robot via its API

When the interaction is initialized, the robot obtains up-to-date set of actions from the server (so it can be connected in an idle mode awaiting the operator and still have updated set of instructions for the interaction). Communication itself is implemented using WebSockets in a form of chat service, where instructions are encoded in JSON format to preserve easy human readability.

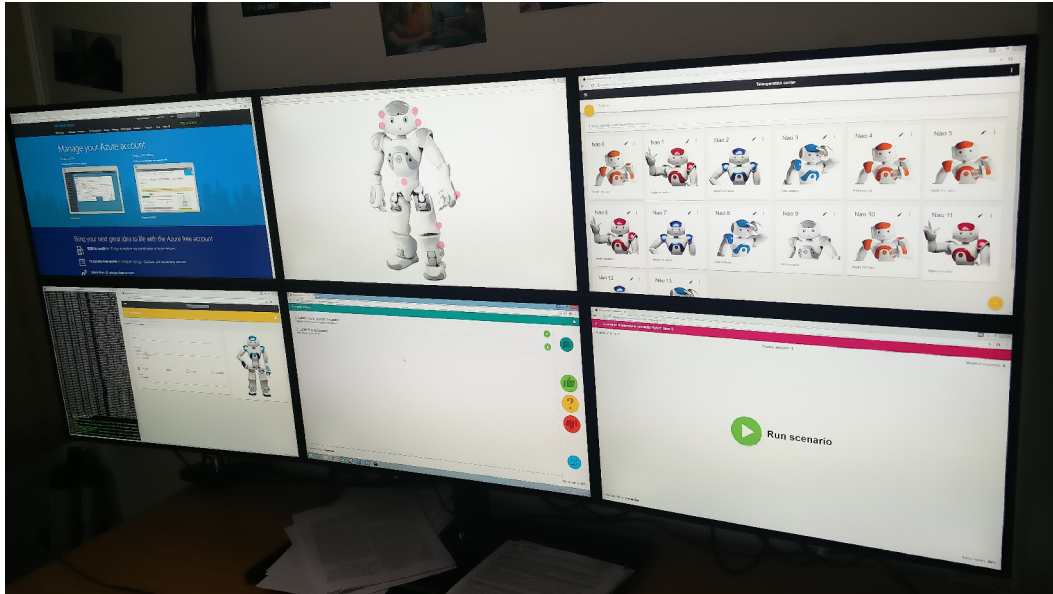


Fig. 1 CoWoOZ teleoperation system on a computer utilizing 6 screens.

### III. USER INTERFACE

necessary for the user to operate the robot. However, overall acceptance was lacking.

Feedback from users testing the system prior to the changes described here uncovered several flaws in the UI of the system - the navigation felt nonintuitive for operators (without consulting the manual) and reporting of the robot's status was found insufficient. The UI of the system already contained basic functionality necessary for teleoperation and management.

#### A. Planning the design

The initial plan was to create a card design for dashboard to achieve a quick and easy navigation throughout the system. Each card was meant to represent a specific page in CoWoOZ (sessions, scenarios, etc.), as well as being interactive. The card design is very simple but effective, as it clearly displays the available options and retains visual simplicity, which helps to prevent a chaotic or disturbing appearance. Additional features to each card were planned to be visual changes when hovering over them with the cursor. This subtle feature aims to improve engagement of the user.

All of this was simply designed in a mockup tool, which displayed the first idea of how many cards there would be on the dashboard, as well as their placement on the screen. Colours of the cards corresponded with the colours of the pages in the menu for more visual hints for the user.

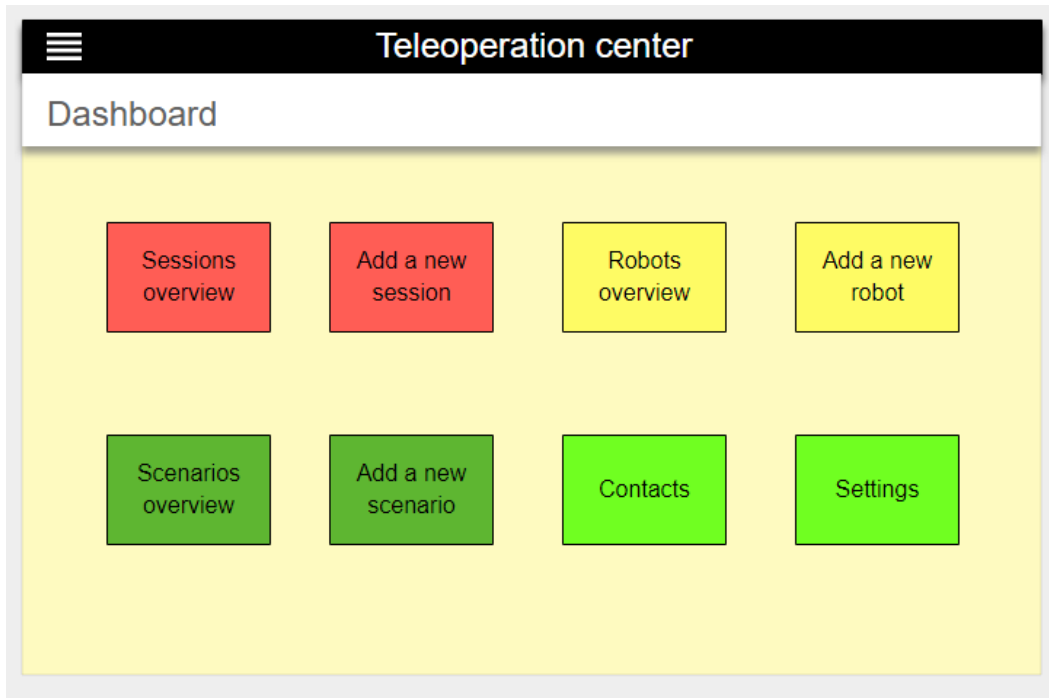


Fig. 2 First concept of the dashboard.

### B. The final design

The final design does not have significant changes compared to the planned version. The card design was preserved with small visual tweaks and additions, for a more user-friendly look and for an improved overall user experience.

The first change made to the card design was changing the shade of the colours. While each page and section in CoWoOz has a specific and significant colour assigned, these exact colours appeared very aggressive for the dashboard. Since it was created with simplicity in mind, these colours had to be changed for a better looking design. The change only occurred in changing the shade of each colour to a lighter one, as we wanted to retain the colour scheme of the whole user interface. The only complete change of a card colour was made on the Settings card, so there would be no visual similarity with contacts.

One of the biggest additions was adding pictures to each card. The goal of this change was to provide the user with additional visual clue as well as more variety within the dashboard. Adding pictures to cards meant moving the title to the top to better reflect natural eye movement.

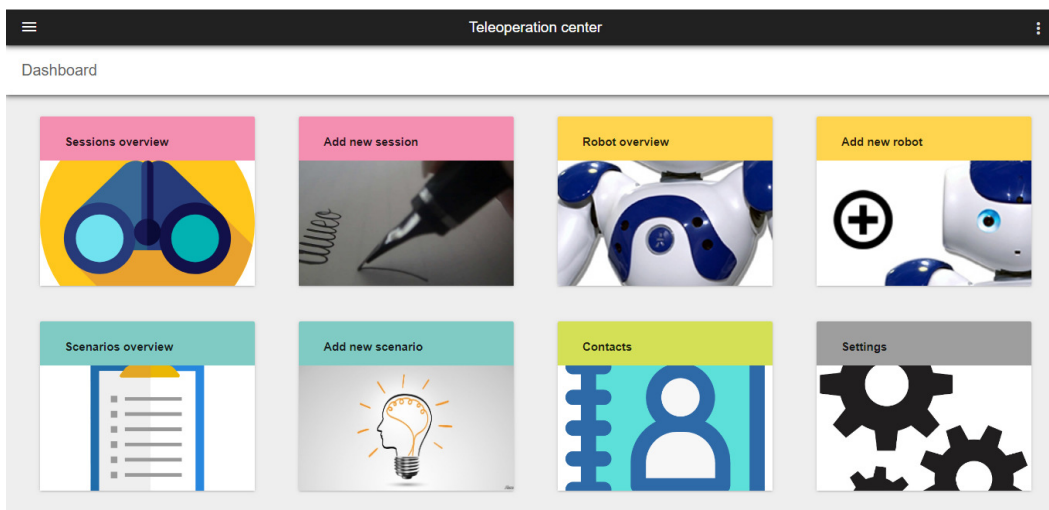


Fig. 3 Realization of the proposed dashboard concept.

Another addition to the overall dashboard design was adding the aforementioned on hover



elements to each card. Rather than having static cards, we settled on using Sass (Syntactically awesome style sheets) elements to make UI elements active on certain behaviour, in this case, hovering over a certain card with the cursor, which triggers the Sass elements such as expanding the under-card shadow, making the card stand out by enlarging it and adding transitions between the static and the active state to deliver smoothness. The overall design of the dashboard was created using Angular material design, with the combination of Sass elements.

### C. Displaying robot's status

Cloud nature of the system makes it usable in applications, where the robot is out of the physical reach of the operator or simply the operator should be warned if anything is amiss (such as low battery, high CPU temperature or connectivity problems) to take appropriate steps without breaking of the immersion for the interacting person (if possible).

The system already had in place chat service to transfer the data. This allowed us to simply add a new action / topic into the communication which transfers following diagnostic data encoded in JSON format: Battery level, CPU temperature and current action. Since the user interface is written in Angular, we created a simple service, which handles updating the page with relevant information anytime it is received from the robot.

Another important value for the operator is latency. High response time could indicate faulty network and possible loss of communication. In our case, the latency is obtained using simple ping approach, where the web page sends a message with the current timestamp to the robot and awaits the response, which carries the same value. By subtracting the timestamp carried by the message from the current one, we receive round trip time, which, when divided by two, yields the latency. To even out small spikes (that do not have to be caused by the network itself) we calculate sliding window average over a small period of time. While this method is not 100% accurate, it is reliable enough for our usecase.

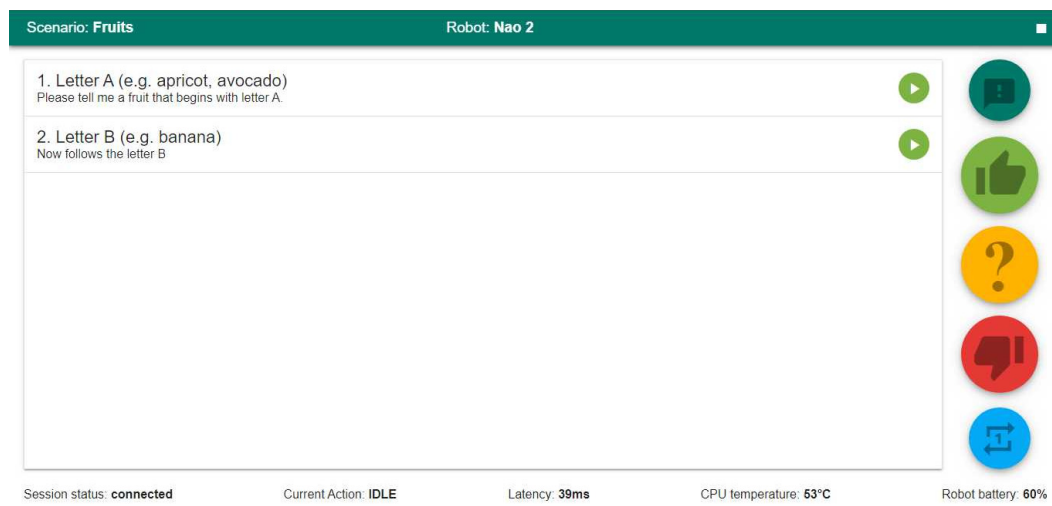


Fig. 4 Updated teleoperation page, which now displays current status of the robot in real time.

## IV. CONCLUSION

Human-robot interaction is a rapidly evolving discipline and while most of the focus is targeted towards the interacting person, we should keep in mind, that the operator is human just as well. By changes described in this paper, we aim on improving their overall feel of the system, which, we expect, would translate into better HRI experience for the interacting person. Furthermore, we would like to reiterate on these changes in the future using the obtained feedback.

## ACKNOWLEDGMENT

This research work was supported by FEEI Grant for the year 2019 as a result of the project "Cloud-connected Assistive Robots for the Elderly", APVV project 015-0730 "Cloud Based Human Robot Interaction", National Research and Development Project Grant number 1/0773/16 "Cloud Based Artificial Intelligence for Intelligent Robotics" (2016-2019).

## REFERENCES

- [1] M. Waibel, M. Beetz, J. Civera, R. d'Andrea, J. Elfring, D. Galvez-Lopez, K. Häussermann, R. Janssen, J. Montiel, A. Perzylo *et al.*, "Roboearth," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 18, no. 2, pp. 69–82, 2011.
- [2] J. E. Young, J. Sung, A. Voids, E. Sharlin, T. Igarashi, H. I. Christensen, and R. E. Grinter, "Evaluating human-robot interaction," *International Journal of Social Robotics*, vol. 3, no. 1, pp. 53–67, 2011.
- [3] L. D. Riek, "Wizard of oz studies in hri: a systematic review and new reporting guidelines," *Journal of Human-Robot Interaction*, vol. 1, no. 1, pp. 119–136, 2012.
- [4] G. Hoffman, "Openwoz: A runtime-configurable wizard-of-oz framework for human-robot interaction," in *2016 AAAI Spring Symposium Series*, 2016.
- [5] R. Toris, D. Kent, and S. Chernova, "The robot management system: A framework for conducting human-robot interaction studies through crowdsourcing," *Journal of Human-Robot Interaction*, vol. 3, no. 2, pp. 25–49, 2014.
- [6] M. Quigley, K. Conley, B. Gerkey, J. Faust, T. Foote, J. Leibs, R. Wheeler, and A. Y. Ng, "Ros: an open-source robot operating system," in *ICRA workshop on open source software*, vol. 3, no. 3.2. Kobe, Japan, 2009, p. 5.

# Engineering Processing of Requirements with Use of the OPM

<sup>1</sup>Erika BUFFOVÁ, <sup>2</sup>Zdeněk Havlice

Department of Computer Science and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Kosice, Slovak Republic

<sup>1</sup>erika.buffova@student.tuke.sk, <sup>2</sup>zdenek.havlice@tuke.sk

**Abstract** — the aim of this article is to process the requirements using the Object-Process Methodology (OPM). OPM enables modeling of requirements and system using two main items – object and process. On a suitable demonstration example of system, Library Borrowing System, are processed requirements in system lifecycle phases – design and analysis, implementation, maintenance with use of CASE system OPCloud. At the same time, they are tested in iteration process, it means verification and validation, which results are written in structured tables.

**Keywords** — Object-Process Methodology, software development, software maintenance, requirements verification, requirements validation

## I. INTRODUCTION

This article points to the processing of requirements in the life cycle phases of the system using OPM methodology, using OPCloud and OPCAT CASE systems.

Many systems are currently failing to perform functions, due to the processing of requests. It is important to prevent these errors and one of the possibilities is to use OPM, i.e. modeling the system and requirements in development, implementation, or how to proceed during maintenance.

## II. DESCRIPTION OF OBJECT-PROCESS METHODOLOGY IN TERMS OF REQUIREMENTS PROCESSING

Object-Process Methodology (OPM) [1] is a methodology for modeling systems. It includes a clear and concise set of symbols that compose the language to express the building blocks of the system and their relationships.

The system is described using two main items [1] – object and process.

The basic advantage is that the system is made graphically, but also textually, which the complex systems makes understandable.

Object-Process Language [2] is a textual part of the OPM methodology specification; it is an automatically generated textual description of the system in English. It is extracted from the diagrams based on OPM. Diagrams are intuitive and widely used in modeling. This is a practical way to point out the different parts of the system. In OPM, diagrams are called Object-Process Diagrams (OPD). They contain symbols for objects, states and processes that are linked by different kind of links. Object exists and processes transform them by creating and influencing them. States are used to describe objects and do not represent separate items. [2]

The object is represented by a rectangle and the process is represented by a circle or ellipse. The object or process name is recorded in the appropriate symbol. The state is represented by a rounded rectangle inside the object. The following figure (Fig. 1) is an example of a simple OPD that illustrates how process *Borrowing* (Vypožičanie) changes the state of the object *Book Print* (Výtlačok) from the state *not borrowed* (nevypožičaný) to the state *borrowed* (vypožičaný).



Fig. 1 The effect of the process *Borrowing* touches to the object *Book Print*

### A. OPM tools

#### OPCloud

OPCloud [3] offers a software environment that supports OPM; it is an option for development, life cycle, life cycle management and knowledge management. This platform supports features such as requirement engineering, information layer management, model simulation and validation, model storage, automatic document generation and management.

In this article, we are processing the lifecycle of requirements using this tool, which is available at - <http://opcloud-trial.firebaseio.com>.

#### OPCAT

OPCAT [4] is an integrated system engineering environment that supports the development of system based on OPM. It is designed to support the life cycle of system development through OPM. It supports a bi modal – graphical and textual view of the development of the system that allows increased availability qualified users in the system development process.

### III. UTILIZATION OF OPM METHODOLOGY IN PROCESSING REQUIREMENTS WITH RESPECT TO SYSTEM DEVELOPMENT EFFICIENCY AND MAINTENANCE

On the demonstration example [5], *Library Borrowing System*, we illustrate the iterative verification and validation process of requirements in the design and analysis, implementation and future system maintenance phases.

We have chosen demonstration example because of sufficient amount of data processing, several entities in the system, different processes and several actors participate.

#### A. Processing requirements in the system analysis and design phase

In the system analysis and design phase [5], it is necessary to define and process requirements to the level at which the proposed system can be implemented. On the demonstration example, we have designed a crude model of functions, priority of requirements and system structure.

During the design phase [5], we only have system requirements from the customer, which are then categorized by participants in the entire *Library Borrowing System*.

We can verify and validate system requirements to confirm correctness of modeling of individual mechanisms and processes. From a quantitative point of view, they will determine the outcome and the degree of accuracy.

Validation of each request [5] is based on running a modeled process through OPCLoud and on writing the procedure and result to the structured table. On the other hand, verification is based on comparing the generated specification by OPL and the system specification of the customer requirement, where the same verbal words are searched – actors, processes, and states.

As an example (Fig. 2) [5] of processing requirements in the system design phase, we present the system requirement of an employee of library – RZ2 – borrowing the book print. The data from the object *Employee* (Zamestnanec) are consumed with the process *Creating* (Vytvorenie), the object Customer (Zákazník) handles the same process, which requires the object *Print Book* (Výtlačok). The result of this requirement is *Borrowed Book* (Výpožička).

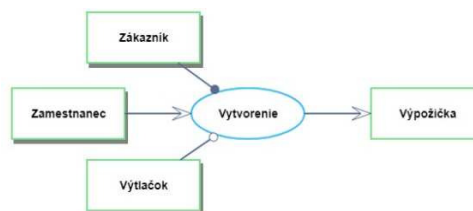


Fig. 2 System requirement RZ2 [5]

Based on the model executing we can evaluate the validation of the RZ2 system requirement as successful.

|                          |  |
|--------------------------|--|
| method of the validation | executing the model in OPCLoud   |
| goal of the requirements | allowing the employee to lend the book print   |
| special conditions       | it is necessary that physical objects – the book print and the customer participate in the process |
| result of the validation | successfully   |

Table 1 Result of validation of system requirement RZ2 [5]

Next, the RZ2 requirement is verified by comparing the generated specification by OPL and the RZ2 text specification by customer.

SD  
 Výpožička is informatical.  
 Vytvorenie is informatical.  
 Zákaznik handles Vytvorenie.  
 Vytvorenie requires Výtlačok.  
 Vytvorenie consumes Zamestnanec.  
 Vytvorenie yields Výpožička.

Fig. 3 OPL of model system requirement RZ2 [5]

Based on the comparison (Fig. 3) of the generated word specification of system requirement and specification of system requirement by customer, the verification result is successful.

|                            |  |
|----------------------------|--|
| method of the verification | comparison of OPL and specification of customer's system requirement |
| result of the verification | successfully   |

Table 2 Result of verification of system requirement RZ2

*System requirements in the system analysis phase*

Requirements analysis [5] detects the status of requirements with respect to creating an information system. It is important to focus on the correct classification of requirements to determine software artifacts from which the rest of the system implementation is based.

In our case [5], each system requirement was analyzed separately and then classified into a group. Requirement RZ2 is source of requirement Z1\_2 which has the priority with number 5. The requirement Z1\_2 is modeled for the information system, so model of RZ2 and Z1\_2 is a little different.

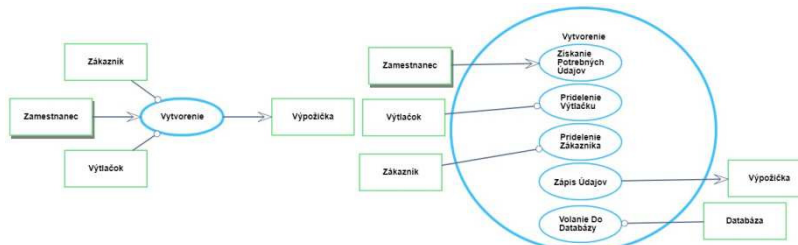


Fig. 4 System requirement Z1\_2 and in-zoom of system requirement Z1\_2 [5]

By modeling we demonstrate that the functional requirement Z1\_2 (Fig. 4) provides the required functionality, which can be also confirm by validation a given system requirement. The process *Creating* (Vytvorenie) is composed by multiple threads – *Assigning the Book Print* (Pridelenie Výtlačku), *Assigning the Customer* (Pridelenie Zákazníka), *Write the required data* (Zápis údajov) and *Calling to the Database* (Volanie do Databázy). The result is the object *Borrowed Book* (Výpožička).

|                          |   |
|--------------------------|---|
| Method of the validation | Executing the model in OPCLoud  |
| Goal of the requirements | Allowing the employee to lend the book print.   |
| Special conditions       | It is necessary that object – book print and customer already exist in the system and connect to the database to allow modification of the records. |
| Result of the validation | Successfully  |

Table 3 Result of validation of system requirement Z1\_2 [5]

OPL spec.  
 Vypožička is informational.  
 Vytlačok is informational.  
 Zákazník is informational.  
 Vytvorenie is informational.  
 Vytvorenie requires Vytlačok and Zákazník.  
 Vytvorenie consumes Zamestnanec.  
 Vytvorenie yields Vypožička.  
 Vytvorenie from SD zooms in SD1 into Získanie Potrebných Údajov, Prídelenie Vytlačku, Prídelenie Zákazníka, Zápis Údajov, and Volanie Do Databázy, which occur in that time sequence.  
 Vypožička is informational.  
 Vytlačok is informational.  
 Zákazník is informational.  
 Databáza is informational.  
 Vytvorenie is informational.  
 Získanie Potrebných Údajov is informational.  
 Získanie Potrebných Údajov consumes Zamestnanec.  
 Prídelenie Vytlačku is informational.  
 Prídelenie Vytlačku requires Vytlačok.  
 Zápis Údajov is informational.  
 Zápis Údajov yields Vypožička.  
 Prídelenie Zákazníka is informational.  
 Prídelenie Zákazníka requires Zákazník.  
 Volanie Do Databázy is informational.  
 Volanie Do Databázy requires Databáza.  
 Volanie Do Databázy requires Zamestnanec.

Fig. 5 OPL of model system requirement Z1\_2 [5]

The previous figure (Fig. 5) shows the generated specification of requirement Z1\_2 using OPL, which was needed for verification of requirement. The verification result is the same as in Table 2.

By analyzing the requirements [5] we will identify the basic system objects, actors, states and processes that may occur in the system. On this basis we have described the conceptual design of the solution, the database layer, the contextual background of the demonstration example and the structural and procedural relationships of the system.

In a more detailed designed of the system, it is important to also focus on the external environment of the system, which can affect it and in some way restrict it or expand it.

*B. Processing requirements in manual implementation phase of the system*

In the implementation phase [5], verification and validation activity, we have built up software review and repair to ensure compliance with the programming language standard and practices. In this phase we also conducted testing – verification and validation. We verified and validated each requirement for functionality and user interface.

As the example [5], we use system requirement RZ6 – adding a customer to database. The following figure (Fig. 6) show the system user’s steps to reach the desired requirement – The process Adding Customer to the System (Prídanie Zákazníka do Systému) is composed of the following threads – Push Button Add a Customer (Stlačenie Tlačidla Pridať Zákazníka), Write a required information (Zadanie Potrebných Údajov), Push Button Add a Customer (Stlačenie Tlačidla Pridať Zákazníka) - that need to be done for the correct result. This model was validated (Fig. 6) and verified (Fig. 7) for its correctness.

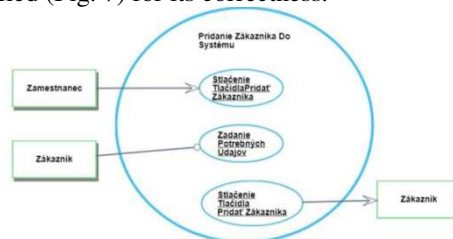


Fig. 6 System requirement RZ6 for user interface [5]

|                          |   |
|--------------------------|---|
| Method of the validation | Executing the model in OPCLoud                                  |
| Goal of the requirements | Allowing the employee to add (register) customer to the system. |
| Special conditions       | In the absence of the customer, the process is not executed.    |
| Result of the validation | Successfully  |

Table 4 Result of validation of system requirement RZ6 for user interface [5]

Prídanie Zákazníka Do Databázy  
 Prídanie Zákazníka Do Databázy from SD zooms in SD1 into Stlačenie Tlačidla Pridať Zákazníka, Zadanie Potrebných Údajov, and Stlačenie Tlačidla Pridať Zákazníka, which occur in that time sequence.  
 Zákazník is informational.  
 Prídanie Zákazníka Do Databázy is informational.  
 Zadanie Potrebných Údajov is informational.  
 Zadanie Potrebných Údajov requires Zákazník.  
 Stlačenie Tlačidla Pridať Zákazníka is informational.  
 Stlačenie Tlačidla Pridať Zákazníka yields Zákazník.  
 Stlačenie Tlačidla Pridať Zákazníka is informational.  
 Stlačenie Tlačidla Pridať Zákazníka consumes Zamestnanec.

Fig. 7 OPL of system requirement RZ6 for user interface [5]

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Method of the verification | Comparison of OPL and specification of customer’s system requirement. |
| Result of the verification | Successfully  |

Table 5 Result of verification of system requirement RZ6 for user interface [5]

Processing requirement for functionality provides programmers with the right way to achieve the desired goal. Requirements are also verified and validated by required steps for validation and verification as requirements above.

By verifying and validating the requirements [5] in the implementation phase, we ensure correct processing of requirements from the system design and analysis to implementation. The requirements for the user interface and functionality. The user interface requirements are compared to the system requirements for performing processes that lead to the expected outcome, including inputs and outputs. Requirements for functionality are modeled as requirements processing in the system analysis phase, while maintaining consistency with the same output and input.

### C. System maintenance using OPM methodology

System maintenance [5] is a continuous activity that covers a wide range of activities, including design and program troubleshooting, documentation update and testing data. Maintenance is classified into three classes, which will be described next.

#### System repair maintenance

This type of maintenance [5] is aimed to eliminate program errors that could occur due to faulty design or incorrect assumptions. System repair maintenance is shown on the system requirement – RZ6 for user interface (Fig. 8) – adding the customer to the system. The meaning of the model is explained above (Fig. 6).

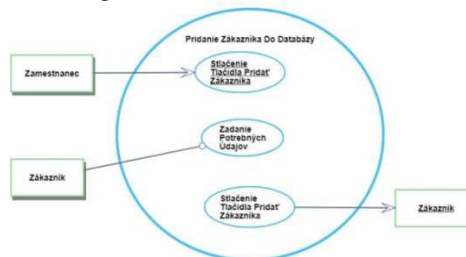


Fig. 8 System requirement RZ6 for user interface [5]

Since the model displays the same buttons – to add a customer (Tlačidlo Pridat' Zákazníka) in the method call and method exit situations, it was necessary to change the names to eliminate the programming error (Fig. 9). So, the user does not call the same method twice. The process name Push Button Add Customer (Stlačenie Tlačidla Pridat Zákazníka) - Fig. 8 - was changed for the process name Push Button OK (Stlačenie Tlačidla OK).

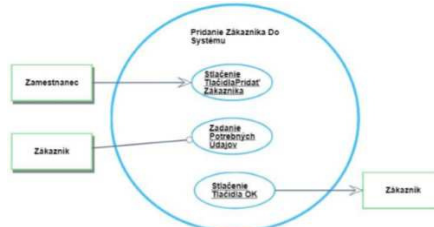


Fig. 9 Modified system requirement RZ6 for user interface [5]

#### Adaptive maintenance

In the case of adaptive maintenance [5] there is a modification of the program functions to satisfy the customer's information needs.

As an example of adaptive maintenance [5], we present the system requirement RZ5 – to Charge Calculation, as shown the following figure (Fig. 10). An error occurred during the validation and verification of the requirement, at the design stage of the system from which the unfair processing is based on the system analysis and implementation phase. The process *Charging Calculation* (Výpočet Poplatku) requires the object *Borrowed Book* (Výpožička) - so if the object *Borrowed Book* is not present, the process will not be executed. The result of the process is an information object *Sum* (Suma).



Fig. 10 System requirement RZ5 [5]

The error is a missing rental status. Process requires the object *Borrowed Book* (Výpožička) in the *open* (otvorená) state, because of the process *Charging Calculation* (Výpočet Poplatku) could be executed for every *Borrowed Book* (Výpožička) in the system. The model must be modified (Fig. 11) and validated and verified again at all life cycle phases – design and analysis, implementation.





Fig. 11 Modified system requirement RZ5 [5]

### Improving maintenance

This maintenance [5] is aimed to add new programs and modifications to existing programs to improve system performance. It is used to additional user needs that may be caused by changes within or outside the organization.

The owner's additional requirement [5] is the administration of the library staff - RM10 (Fig. 12). A new requirement and its respective inputs and outputs must be added to the model that displays structural and procedural relationships. Subsequently, the model must be restarted and requirement is validated and verified again at all system life phases. The process CRUD (Create, Read, Update, Delete) requires the object Employee (Zamestnanec) and is initialized by the Owner (Majiteľ). The result is Staff Managements (Správa zamestnancov) in the system.

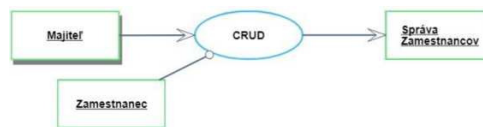


Fig. 12 System requirement RM10 [5]

In the future maintenance phase, it is also important to perform testing – validation and verification of individual requirements to ensure correct and required system functionality.

On the demonstration example [5], we use the validation of requirements at the each phase of the life cycle system, although in most cases the system validation is performing only on the end. The procedure we have designed is more demanding in terms of modeling, but re-verification and re-validation of each requirement has ensured the match between requirements at all phases of life cycle.

## IV. OPM METHODOLOGY FOR PROCESSING REQUIREMENTS IN THE SYSTEM DEVELOPMENT AND MAINTENANCE PHASE

When processing requirements [5], on the demonstration example, OPM methodology for processing requirements in the system development and maintenance phase is applied; this was designed and created by us.

The basic steps [5] are validation and verification of requirements in the life cycle. Validation is based on modeling the requirement and executing the model. Verification is based on comparison of the text specification customer's requirement and the generated text specification of the modeled requirement by OPL.

Based on the results of requirements testing [5], the methodology proposed by us ensures the efficiency of the systems and eliminates errors or the failure itself.

## V. CONCLUSION

This article offers steps for development the system and how to eliminate errors and prevent system failures that might occur later by verifying and validating requests at each software life cycle. It provides general knowledge, which is applied to the system from the real environment.

Object-oriented tools allow us to illustrate engineering requirements. Their important advantage is the ability to execute models, to illustrate the progress of the requirements, in order to achieve the desired output while ensuring clarity.

## REFERENCES

- [1] Modeling Software Measurements with OPM and Development of Prototype Tool, Lund, Sweden, September 2004. [online]: <[http://fileadmin.cs.lth.se/serg/old/serg-dok/docs-masterthesis/53\\_Rep.5518.Svensson.pdf](http://fileadmin.cs.lth.se/serg/old/serg-dok/docs-masterthesis/53_Rep.5518.Svensson.pdf)>
- [2] Dov Dori, Object-Process Methodology - A Holistic Systems Paradigm, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2002, ISBN 3-540-65471-2.
- [3] OPCLoud Version 1.0-Getting Started Guide, Release, 2018.
- [4] Dori Reinhartz-Berger, I., OPCAT – A bimodal Case Tool for Object-Process based system development. 5th International Conference on Enterprise Information System, 286-291, 2003.
- [5] Erika Buffová, Engineering processing requirements with Use of OPM methodology. Master Thesis. Technical University of Kosice, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Department of Computers and Informatics, Kosice, 2019.



# Semantics of programming languages in categorical terms

<sup>1</sup>Martin BRAŽINA, <sup>2</sup>William STEINGARTNER

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

<sup>1</sup>martin.brazina@student.tuke.sk, <sup>2</sup>william.steingartner@tuke.sk

**Abstract** – The goal of this work is to extend denotational semantics with categorical structures. Categories are mathematical structures with which we can express various structures and relationships between them in the theory of programming languages. The work describes this traditional semantics and its categorical representation. The main focus of this work is the proof of equivalence between denotational semantics and its categorical representation.

**Keywords** – Category, denotational semantics, equivalence

## I. INTRODUCTION

The *rôle* of semantics is to assign a meaning to a program written in a given programming language. There are many semantics such as denotational semantics [1], natural semantics [2], structural operational semantics [3], axiomatic semantics, action semantics and others. In this work, we deal with two semantic methods, denotational semantics and categorical denotational semantics [4], [5]. Denotational semantics was formulated by Dana Scott and Christopher Strachey [6]. This method requires deep knowledge of mathematics because the meaning of the program was expressed by numbers and functions, which are called denotations. Denotational semantics must be composite, what is more complicated for a loop statement where we must introduce a theory of fixed points [7], [8]. Categorical denotational semantics is denotational semantics extended with categories. At first, we will introduce categories in sense of [9]. Theory of category [10] is the algebra of functions [11]. Categories [12] are mathematical structures that consist of objects and morphism between them. There are some more complicated categorical structures such as functors [13], limits and colimits, etc.

## II. BASIC NOTIONS ABOUT CATEGORIES

Category theory is considered as an algebra of functions. A category represents an abstract structure. It consists of a collection of objects and collection of arrows (morphisms) between them. In the category must be fulfilled the following terms:

- existence of identity morphism  $id_A : A \rightarrow A$ ,
- composition of morphism, which means if we have two morphisms  $f : A \rightarrow B$  and  $g : B \rightarrow C$ , the morphism represented by their composition  $f \circ g : A \rightarrow C$  must be followed.

More about categories is published in [14], [15].

## III. THE LANGUAGE *Jane*

Principles of many semantic methods can be illustrated in this programming language. It consists of traditional syntactic constructions of imperative languages as arithmetic, Boolean expressions and statements. For this language exist following syntactic domain [16], [17]:

|              |                              |
|--------------|------------------------------|
| <b>Num</b>   | –for digit strings;          |
| <b>Var</b>   | –for variables;              |
| <b>AExpr</b> | –for arithmetic expressions; |
| <b>BExpr</b> | –for Boolean expressions;    |
| <b>Statm</b> | –for statements.             |

We also introduce five Dijkstra's statements, which are elements of syntactic domain **Statm**,  $S \in \mathbf{Statm}$  - statement of assignment, empty statement, sequence of statements, conditional statement and a loop statement:

$$S ::= x := e \mid \text{skip} \mid S; S \mid \text{if } b \text{ then } S \text{ else } S \mid \text{while } b \text{ do } S \mid (S).$$

## IV. SPECIFICATION OF STATES

A state can be considered as some abstraction of computer memory. We formulate the signature  $\Sigma_{State}$  for states. This signature consists of types and operation specifications on the type *State*.

$$\Sigma_{State} = \begin{array}{l} \text{sorts : } \textit{State}, \textit{Var}, \textit{Value}, \\ \text{opns : } \textit{init} : \rightarrow \textit{State}, \\ \text{get : } \textit{Var}, \textit{State} \rightarrow \textit{Value}. \end{array}$$

The operation specification have the following meaning:

- *init* creates the initial state of program; and
- *get* returns a variable value in an actual state.

The signature  $\Sigma_{State}$  serves as a basis for constructing our model of *Jane* language as the category of states [4], [18].

## V. PROOF OF EQUIVALENCE

Proof of equivalence between denotational semantics and categorical denotational semantics will be accomplished by structural induction, which is considered as a generalization of mathematical induction.

$\mathcal{S}_{ds}[[S]]$  is partially defined function:

$$\mathcal{S}_{ds}[[S]] : \mathbf{State} \dashrightarrow \mathbf{State},$$

because result of the function is new or original state, on the other side, if the result of the function is undefined, we mark it by symbol  $\perp$ .

$\mathcal{C}[[S]]$  is fully defined function:

$$\mathcal{C}[[S]] : \mathbf{State} \rightarrow \mathbf{State}$$

and the result of this function is either new state or original state and in the case, there is no transition between states (morphism), we can say that denotation of statement is undefined state  $s_{\perp}$ .

The fully defined function is in relation with a partially defined function. So  $\mathcal{S}_{ds}[[S]]$  and  $\mathcal{C}[[S]]$  are elements of partially ordered set (poset). To prove are two elements of poset are equal is possible by antisymmetry quality of partially ordering relation. These claims must be valid:

1.  $\mathcal{S}_{ds}[[S]] \sqsubseteq \mathcal{C}[[S]]$ .
2.  $\mathcal{C}[[S]] \sqsubseteq \mathcal{S}_{ds}[[S]]$ .

Validity of statement

1.  $\mathcal{S}_{ds}[[S]] \sqsubseteq \mathcal{C}[[S]]$

we will prove by structural induction on statement *S*.

Let  $S \equiv x := e$  is assignment statement.

From denotation of assignment statement we get

$$\mathcal{S}_{ds}[[x := e]]s = s[x \mapsto \mathcal{C}[[e]]s],$$

the morphism shape of the assignment statement in categorical denotational semantics is

$$[[x := e]]s = s[(x, v) \mapsto (x, \mathcal{C}[[e]]s)],$$

which means, value of arithmetical expression  $\mathcal{C}[[e]]s$  is assigned to variable *x*, then we get

$$\mathcal{S}_{ds}[[x := e]]s = [[x := e]]s,$$

for each state  $s \in \mathbf{State}$ . The same is from the other side, if we want to prove  $\mathcal{C}[[S]] \sqsubseteq \mathcal{S}_{ds}[[S]]$ , we get

$$[[x := e]]s = \mathcal{S}_{ds}[[x := e]]s.$$

The next construct,  $S \equiv \text{skip}$  is an empty statement. In both compared semantics it's identical function on domain  $\mathbf{State}$ , so

$$\mathcal{S}_{ds}[[\text{skip}]]s = [[\text{skip}]]s,$$

for each state  $s \in \mathbf{State}$ .

Let  $S \equiv S_1; S_2$  is sequence of statements. Sequence of statements has denotation

$$\mathcal{S}_{ds}[[S_1; S_2]] = \mathcal{S}_{ds}[[S_2]] \circ \mathcal{S}_{ds}[[S_1]].$$

For both of statements  $S_1$  and  $S_2$  induction hypothesis can be formulated:

$$\begin{aligned}\mathcal{S}_{ds}[[S_1]] &\sqsubseteq [[S_1]], \\ \mathcal{S}_{ds}[[S_2]] &\sqsubseteq [[S_2]].\end{aligned}$$

The symbol 'o' represents the composition of functions which is monotone function, therefore

$$\mathcal{S}_{ds}[[S_2]] \circ \mathcal{S}_{ds}[[S_1]] \sqsubseteq [[S_2]] \circ [[S_1]].$$

From a definition for the sequence of statements in categorical denotational semantics we get

$$[[S_2]] \circ [[S_1]] \sqsubseteq [[S_1; S_2]],$$

then

$$\mathcal{S}_{ds}[[S_1; S_2]] \sqsubseteq [[S_1; S_2]],$$

The next construct  $S \equiv \text{if } b \text{ then } S_1 \text{ else } S_2$  is a conditional statement. Denotation of this statement is

$$\mathcal{S}_{ds}[[\text{if } b \text{ then } S_1 \text{ else } S_2]] = \text{cond}(\mathcal{B}[[b]], \mathcal{S}_{ds}[[S_1]], \mathcal{S}_{ds}[[S_2]]).$$

We use induction hypothesis for each of statements,  $S_1$  and  $S_2$ :

$$\begin{aligned}\mathcal{S}_{ds}[[S_1]] &\sqsubseteq [[S_1]], \\ \mathcal{S}_{ds}[[S_2]] &\sqsubseteq [[S_2]].\end{aligned}$$

From a definition for the conditional statement in categorical denotational semantics we get

$$\begin{aligned}[\text{if } b \text{ then } S_1 \text{ else } S_2]_s &= [[S_1]]_s, \text{ ak } \mathcal{B}[[b]]_s = \mathbf{tt}, \\ [\text{if } b \text{ then } S_2 \text{ else } S_2]_s &= [[S_2]]_s, \text{ ak } \mathcal{B}[[b]]_s = \mathbf{ff},\end{aligned}$$

the we get

$$\text{cond}(\mathcal{B}[[b]], [[S_1]], [[S_2]]) = [[\text{if } b \text{ then } S_1 \text{ else } S_2]].$$

An auxiliary function  $\text{cond}$  is monotone, so

$$\begin{aligned}\mathcal{S}_{ds}[[\text{if } b \text{ then } S_1 \text{ else } S_2]] &= \\ &= \text{cond}(\mathcal{B}[[b]], \mathcal{S}_{ds}[[S_1]], \mathcal{S}_{ds}[[S_2]]) \sqsubseteq \\ &\sqsubseteq \text{cond}(\mathcal{B}[[b]], [[S_1]], [[S_2]]) = \\ &= [[\text{if } b \text{ then } S_1 \text{ else } S_2]],\end{aligned}$$

The next construct,  $S \equiv \text{while } b \text{ do } S$  is a loop statement. Denotation of a loop statement is

$$\mathcal{S}_{ds}[[\text{while } b \text{ do } S]] = \text{fix } F,$$

where

$$F g = \text{cond}(\mathcal{B}[[b]], g \circ \mathcal{S}_{ds}[[S]], \text{id}),$$

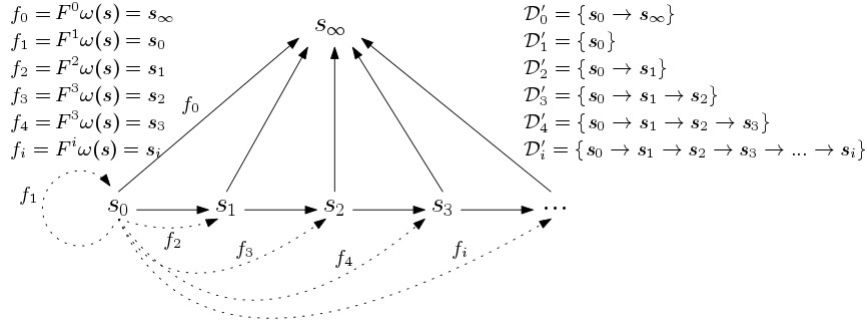
then

$$\begin{aligned}\mathcal{S}_{ds}[[\text{while } b \text{ do } S]] &= \\ &= \text{fix } F = \\ &= F(\text{fix } F) = \\ &= F(\text{cond}(\mathcal{B}[[b]], g \circ \mathcal{S}_{ds}[[S]], \text{id})) = \\ &= \text{cond}(\mathcal{B}[[b]], \mathcal{S}_{ds}[[\text{while } b \text{ do } S]] \circ \mathcal{S}_{ds}[[S]], \text{id}) \sqsubseteq \\ &\sqsubseteq [[\text{while } b \text{ do } S]] \circ [[S]] = \\ &= \text{colim } \mathcal{D}' \circ [[S]] = \\ &= \text{colim } \mathcal{D} = \\ &= [[\text{while } b \text{ do } S]].\end{aligned}$$

Validity of following statement

$$[[\text{while } b \text{ do } S]] \circ [[S]] = \text{colim } \mathcal{D}' \circ [[S]]$$

can be illustrated in Fig 1. From that figure is obvious that colimits of diagrams  $\mathcal{D}'_i$  (where  $\mathcal{D}' \sqsubseteq \mathcal{D}$ ) for  $i \geq 0$ , are equivalent with functions  $F^i \omega(s)$  for  $i \geq 0$ , which are used for construction of the smallest fixed point. Iterations of function  $F^i \omega(s)$  for  $i > 0$ , are different from each other just in one edge of diagram  $\mathcal{D}'_i$ , where the edge represents an execution of statement  $S$  from body of a loop statement.

Fig. 1 Diagram  $\mathcal{D}'$ 

Now we prove

$$2. \quad \mathcal{C}[[S]] \subseteq \mathcal{S}_{ds}[[S]]$$

also by structural induction on statement  $S$ .

Assignment statement as well as an empty statement we just prove in the previous section because of their simplicity.

Let  $S_1$  and  $S_2$  are given statements. Execution of  $S_1$  is morphism from state  $s_1$  to state  $s_2$ . Execution of  $S_2$  is morphism from state  $s_2$  to state  $s_3$ . It is obvious that final state of morphism  $[[S_1]]$  will be initial state of morphism  $[[S_2]]$ , so we get

$$[[S_2]] \circ [[S_1]] = [[S_1; S_2]].$$

Based on this statement we formulate induction hypothesis for  $S_1$  a  $S_2$ :

$$\begin{aligned} [[S_1]] &\subseteq \mathcal{S}_{ds}[[S_1]], \\ [[S_2]] &\subseteq \mathcal{S}_{ds}[[S_2]]. \end{aligned}$$

From monotonicity and a continuity of the function we get

$$[[S_1; S_2]] \subseteq \mathcal{S}_{ds}[[S_1; S_2]],$$

Let  $[[\text{if } b \text{ then } S_1 \text{ else } S_2]]$  be a morphism.

For both of statements  $S_1$  a  $S_2$  we can formulate induction hypothesis

$$\begin{aligned} [[S_1]] &\subseteq \mathcal{S}_{ds}[[S_1]], \\ [[S_2]] &\subseteq \mathcal{S}_{ds}[[S_2]]. \end{aligned}$$

From denotation of conditional statement we get

$$\begin{aligned} \mathcal{S}_{ds}[[\text{if } b \text{ then } S_1 \text{ else } S_2]]s &= \mathcal{S}_{ds}[[S_1]]s, \text{ ak } \mathcal{B}[b]s = \mathbf{tt}. \\ \mathcal{S}_{ds}[[\text{if } b \text{ then } S_1 \text{ else } S_2]]s &= \mathcal{S}_{ds}[[S_2]]s, \text{ ak } \mathcal{B}[b]s = \mathbf{ff}. \end{aligned}$$

then we get

$$\text{cond}(\mathcal{B}[b], \mathcal{S}_{ds}[[S_1]], \mathcal{S}_{ds}[[S_2]]) = \mathcal{S}_{ds}[[\text{if } b \text{ then } S_1 \text{ else } S_2]].$$

From monotocity of function  $\text{cond}$  results

$$\begin{aligned} [[\text{if } b \text{ then } S_1 \text{ else } S_2]] &= \\ &= \text{cond}(\mathcal{B}[b], [[S_1]], [[S_2]]) \subseteq \\ &\subseteq \text{cond}(\mathcal{B}[b], \mathcal{S}_{ds}[[S_1]], \mathcal{S}_{ds}[[S_2]]) = \\ &= \mathcal{S}_{ds}[[\text{if } b \text{ then } S_1 \text{ else } S_2]], \end{aligned}$$

what we wanted to prove.

The loop statement has a morphism  $\llbracket \text{while } b \text{ do } S \rrbracket$ .  
 Then

$$\begin{aligned}
 \llbracket \text{while } b \text{ do } S \rrbracket &= \\
 &= \text{colim } \mathcal{D} = \\
 &= \text{colim } \mathcal{D}' \circ \llbracket S \rrbracket = \\
 &= \llbracket \text{while } b \text{ do } S \rrbracket \circ \llbracket S \rrbracket \sqsubseteq \\
 &\sqsubseteq \text{cond}(\mathcal{B}[b], \mathcal{S}_{ds} \llbracket \text{while } b \text{ do } S \rrbracket \circ \mathcal{S}_{ds} \llbracket S \rrbracket, id) = \\
 &= F(\text{cond}(\mathcal{B}[b], g \circ \mathcal{S}_{ds} \llbracket S \rrbracket, id)) = \\
 &= F(\text{fix } F) = \\
 &= \text{fix } F = \\
 &= \mathcal{S}_{ds} \llbracket \text{while } b \text{ do } S \rrbracket,
 \end{aligned}$$

where validity of statement

$$\text{colim } \mathcal{D}' \circ \llbracket S \rrbracket = \llbracket \text{while } b \text{ do } S \rrbracket \circ \llbracket S \rrbracket$$

we just proved in the previous section where we proved following statement  $\mathcal{S}_{ds} \llbracket S \rrbracket \sqsubseteq \mathcal{C} \llbracket S \rrbracket$ .

By doing this we proved that both of semantics, denotational, as well as categorical denotational, are equivalent, what means, we have a choice what semantics we use to solve program, however, the result of the program will be the same with using both of semantics.

## VI. CONCLUSION

The goal of this work was to prove the equivalence between denotational semantics and categorical denotational semantics. We chose structural induction as a method for proving the equivalence. We had to prove that  $\mathcal{S}_{ds} \llbracket S \rrbracket$  is in poset relation with  $\mathcal{C} \llbracket S \rrbracket$  and  $\mathcal{C} \llbracket S \rrbracket$  is in poset relation with  $\mathcal{S}_{ds} \llbracket S \rrbracket$ . We did it by proving these statements for each Dijkstra's statement of simple procedural language. An advantage of categories is their high illustrative power, which can be used for better didactic methods used in education or for upgrading current interpreters or creating new better interpreters. We proved that a result given by the 'program will be the same, no matter what semantics we will use.

## ACKNOWLEDGMENT

*This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract No. SK-AT-2017-0012: Semantics technologies for computer science education.*

## REFERENCES

- [1] H. R. Nielson and F. Nielson, *Semantics with applications*. Springer Verlag London Ltd, 2007.
- [2] G. D. Plotkin, "The origins of structural operational semantics," *The Journal of Logic and Algebraic Programming*, vol. 60-61, pp. 3–15, 2004.
- [3] —, *A structural approach to operational semantics*. University of Aarhus, 1981.
- [4] W. Steingartner and V. Novitzká, "A new approach to operational semantics by categories," *Central European Conference on Information and Intelligent Systems*, p. 247, 2015.
- [5] —, "Categorical model of structural operational semantics for imperative language," *Journal of Information and Organizational Sciences*, vol. 40.2, pp. 203–219, 2016.
- [6] D. S. Scott, "Domains for denotational semantics," *International Colloquium on Automata, Languages, and Programming*. Springer, pp. 577–610, 1982.
- [7] R. P. Agarwal and M. Meehan, *Fixed point theory and applications*. Cambridge university press, 2001.
- [8] A. Granas and J. Dugundji, *Fixed point theory*. Springer Science Business Media, 2013.
- [9] T. Leinster, *Basic Category Theory*, 2016.
- [10] W. Steingartner and V. Novitzká, *Kategorické štruktúry a ich aplikácie v informatike*. Technická univerzita v Košiciach, 2015.
- [11] M. Barr and C. Wells, *Toposes, Triples, and Theories*, 2000.
- [12] D. Turi, *Category theory lecture notes*, University of Edinburgh, Oct. 2001.
- [13] N. Gambino and J. Kock, "Polynomial functors and polynomial monads," *Cambridge University Press*, pp. 153–192, 2013.
- [14] M. Barr and C. Wells, *Category theory for computing science*. New York: Prentice Hall, 1990.
- [15] S. Awodey, *Category theory*. Oxford University Press, 2010.
- [16] V. Novitzká, *Sémantika programov*. Košice: Elfa, 2001.
- [17] W. Steingartner and V. Novitzká, *Sémantika programovacích jazykov*. Technická univerzita v Košiciach, 2015.
- [18] A. Asperti and G. Longo, *Categories, Types, and Structures: An Introduction to Category Theory for the Working Computer Scientist*. MIT Press, 1991.

# Analýza odstavenia jadrovej elektrárne A1

<sup>1</sup>Pavol Silagyi, <sup>2</sup>Dušan Medved'

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>pavol.silagyi@student.tuke.sk, <sup>2</sup>dusan.medved@tuke.sk

**Abstrakt** — Proces vyrad'ovania jadrových zariadení je časovo a finančne veľmi nákladná činnosť. Porucha na jadrovom zariadení, akým je napríklad aj jadrová elektrárňa A1, so sebou nesie nie len riziko radiačne nebezpečného stavu, ale tak isto aj zvýšené finančné náklady, ktoré je potrebné vynaložiť vo vzťahu k vyrad'ovaniu jadrového zariadenia po poruche. V tomto príspevku je popísaná posledná a najdôležitejšia porucha na zariadení jadrovej elektrárne A1. Tak isto aj jej vplyv na ekonomickú stránku projektu vyrad'ovania tejto jadrovej elektrárne, v porovnaní s finančnými nákladmi, ktoré boli použité na vyrad'ovanie jadrovej elektrárne V1, v rámci ktorej nebola zaznamenaná vážna porucha.

**KLúčové slová** — vyradenie jadrovej elektrárne, jadrová elektrárňa A1, ekonomické aspekty

## I. ÚVOD

Jadrové zariadenia predstavujú v dnešnej dobe jeden z najdôležitejších zdrojov elektrickej energie. Každá poruchová a nehodová udalosť na jadrovom zariadení so sebou nesie riziko vzniku radiačne nebezpečného stavu. Okrem toho však môže poruchovú udalosť sprevádzať nutnosť celkového vyradenia jadrového zariadenia, ktorá je ovplyvnená jeho rozsiahlym poškodením.

V rámci prevádzky jadrovej elektrárne JE A-1 došlo k nehodovej udalosti, ktorá zapríčinila jeho okamžité odstavenie a následne aj okamžitý začiatok prác na vyrad'ovaní jadrovej elektrárne JE A-1. Jedná sa o v poradí druhú z dvoch vážnych nehôd počas prevádzky JE A-1. Táto nehoda ovplyvnila výšku finančných, časových a ľudských zdrojov, ktoré museli byť vynaložené počas procesu vyrad'ovania JE A-1. Prednostne sa však táto práca zaoberá použitými finančnými zdrojmi, ktoré boli a budú vynaložené počas procesu vyrad'ovania elektrárne JE A-1.

Pre utvorenie predstavy, ako táto nehoda vplyva na výšku nutných finančných zdrojov, je vhodné porovnanie s jadrovým zariadením, ktoré bolo vyradené po skončení bezporuchovej prevádzky. Ako vhodný príklad poslúži jadrová elektrárňa V-1, ktorá je v procese vyrad'ovania po ukončení prevádzky bez vplyvu poruchy alebo nehody. [1]

## II. NAJVÁŽNEJŠIA NEHODA Z DŇA 22.2.1977

Jedná sa o najvážnejšiu haváriu na jadrovom zariadení JE A-1. Dá sa povedať, že táto havária bola do veľkej miery spôsobená chybou ľudského faktora. Personál elektrárne, najmä kvôli nedokonalým znalostiam o vplyvoch rôznych elementov na funkciu reaktora, nevyhodnotil vzniknutú situáciu správne a došlo k havárii, ktorá mala v konečnom dôsledku za následok celkové odstavenie jadrovej elektrárne A-1. [2]

Havária vznikla v čase, keď prebiehala výmena vyhoreného palivového článku z kanála C05, počas prevádzky reaktora. Vybratie článku z reaktora prebiehalo v poriadku, a počas tohto výkonu nevznikli žiadne nežiaduce procesy. Problémy nastali pri zavázaní nového palivového článku do reaktora, kedy sa tento článok prehrial a nastala jeho deštrukcia. Vplyvom prehriatia došlo k poškodeniu kesónovej rúrky a ťažká voda sa dostala do plynovej časti primárneho okruhu. [3]

### A. Príčina havárie

Počas procesu zväžania palivového článku do aktívnej zóny reaktora bol výkon reaktora na úrovni 93 MW. Vtedy sa začala výmena vyhoreného palivového článku z kanála C05, kedy bol vyhorený palivový článok vybraný a uložený do krátkodobého skladu vyhoreného paliva. Ešte v tom čase začalo zavážanie nového palivového článku do kanála. V čase zavážania

palivového článku do reaktora sa v priestore zátky spodného dielu ocitlo vrecúško so silika gélom, ktorý slúžil na pohlcovanie vlhkosti z okolia článku pri jeho preprave a uložení v sklade palivových článkov. Došlo k roztrhnutiu tohto vrecúška a tento silika gél prenikol aj do vnútra palivového článku a aj do jeho okolia. Pracovníci, ktorí pracovali na zavážaní článku do kanála sa tento gél pokúsili odstrániť dostupnými prostriedkami, avšak nepodarilo sa im odstrániť všetok silika gél a malá časť ostala vo vnútri palivového článku. Na túto skutočnosť mali upozorniť personál prevádzky, k čomu však, aj zo strachu o zamestnanie, nedošlo a tak bol odovzdaný protokol, v ktorom bolo uvedené, že daný palivový článok je pripravený na prevádzku. [3], [4]

Tieto kúsky silika gélu následne spôsobili, že pri zvyšovaní výkonu reaktora nedochádzalo k dostatočnému odvodu tepla z povrchu článku, na ktorom došlo k poškodeniu kesónovej rúrky, a došlo k masívnemu prieniku ťažkej vody do plynovej časti primárneho okruhu. [5], [3]

K chybe však došlo aj na strane vedúceho operátora, ktorý si neuvedomil vplyv teploty na článok počas zvyšovania výkonu reaktora. Počas zvyšovania výkonu reaktora prerušil kontinuálne meranie teploty palivového článku, čím vlastne zmaril poslednú možnosť predísť havárii. [4], [3]

Príčinou havárie teda nebola porucha zariadenia alebo jej chybná konštrukcia, ale výhradne chyby v komunikácii personálu a jeho nedbalého prístupu pri odstraňovaní silika gélu z palivového článku. Vyplývalo to nielen z nedbanlivosti, ale aj nedostatočných skúseností o vplyve rôznych cudzích predmetov na odvod tepla z okolia článku aj napriek ich veľkosti a materiálu, z ktorého sú vyrobené. [2], [3]

### *B. Dôsledky havárie na zariadenie JE A-1*

Zisťovanie rozsahu poškodenia na reaktore trvalo najdlhšie. Rozhodlo sa o vyvezení celej palivovej náplne z reaktora, čo bolo vykonané dňa 26.6.1977. Následne sa z kanála C05 vytiahli zvyšky palivového kompletu, ktorý bol vytiahnutý po častiach, pričom sa v spodnej časti nachádzali už iba roztavené časti z rôznych komponentov. V laboratórnych podmienkach sa zistilo, že havária bola zapríčinená silika gélom nachádzajúcim sa vo vnútri palivového článku. Okrem toho, že sa až do výšky 15cm nad prvou vrstvou dištančných mreží našla roztavená hmota bielej farby, ktorá vznikla roztavením silika gélu, sa našlo aj niekoľko celých granúl gélu. [3]

Teplota, pôsobiaca na palivový článok, bola odhadnutá na 1400°C, keďže pri tejto teplote dochádza k taveniu sa silika gélu. Palivové prútky, pod prvou vrstvou dištančných mreží, boli vplyvom takto vysokej teploty v podstate premenené na prach. [3]

Kesónová rúrka, v ktorej bol daný palivový článok umiestnený, si svoj tvar zachovala iba v dolnej časti, pričom vo zvyšnej časti tejto rúrky bolo zaznamenané jej rozšírenie. [3]

Po tejto nehode bolo pozorovaniami zistené poškodenie reaktora do tej miery, že akákoľvek oprava by bola, vzhľadom na výšku dodávaného výkonu a častú poruchovosť počas prevádzky, nerentabilná. K tomuto kroku sa pristúpilo aj vzhľadom k tomu, že sa v tesnej blízkosti budovali bloky jadrových elektrární V1 a V2. [2]

## III. EKONOMICKÉ ASPEKTY VYRAĐOVANIA JE A-1

Financovanie vyradovania JE A-1 je dnes v plnej réžii Slovenskej republiky a spoločnosti JAVYS, a.s.. Keďže vyradovanie bolo predelené zmenou politického režimu, viacnásobnými zmenami meny a vstupom do Európskej únie, je ťažké určiť jednotlivé náklady s úplnou presnosťou pred vydaním správy o celkových nákladoch na realizáciu vyradovania JE A-1. Odhadované náklady, za uplynulé obdobie a obdobie do konca vyradovania JE A-1, sú uvedené v tabuľke 2.

Najzásadnejším vplyvom, ktorý ovplyvnil výslednú, zatiaľ odhadovanú, cenu vyradovania JE A-1 bola jeho posledná, vyššie spomenutá, porucha. Dôvodom bolo, že okrem bežných postupov musela prebehnúť dekontaminácia elektrárne a veľmi náročná manipulácia s palivom, ktoré bolo vyvezené z reaktora. Palivové články boli poškodené do tej miery, že počas toho, ako prebiehalo ich vyvezenie z reaktora sa rozpadávali a museli byť umiestňované do špeciálnych túb v bazéne dlhodobého úložiska. [6]

Ďalšími zásadnými vplyvmi, ktoré ovplyvnili proces vyradovania JE A-1, boli nedostatočné zabezpečenie a vybavenosť pracovišok. Ako príklad možno uviesť jednostupňový obal podzemných nádrží, v ktorých bol umiestnený tekutý rádioaktívny odpad (RAO). Avšak pri určení ďalších- podobných chýb by bol ich počet značne vysoký. Finančne náročné vyvíjanie zariadení na odstránenie kontaminovanej zeminy z okolia spomínaných podzemných nádrží, a taktiež náročnosť samotného procesu, spojená s nutnosťou uloženia tejto zeminy, a jej následného spracovania boli jednými z následkov nedostatočných skúseností pri budovaní jadrového zariadenia JE A-1. Vybavenosť elektrárne, v zmysle technologických zariadení na

dekontamináciu a spracovávanie RAO, bola minimálna. Po nehode sa začalo s budovaním komplexu bitúmenačnej linky, vitrifikačnej linky a s rekonštrukciou krátkodobého úložiska. [7] Významný dopad na finančné náklady malo vybudovanie Republikového úložiska v Mochovciach, kam bol následne prevezený spracovaný RAO. Je to nepochybne jedna z najvýznamnejších stavieb, v súvislosti s radiačnou ochranou a spracovaním RAO, na Slovensku. Ak by k vybudovaniu tohto úložiska došlo skôr, a to v čase budovania JE A-1, boli by finančné náklady spojené s prvými etapami vyradovania JE A-1, krátko po jej odstavení, podstatne nižšie. [6], [7]

Prvotný odhad vplyvu poruchy na zariadení bol vyhodnotený tak, že táto porucha spôsobila približne dvojnásobné navýšenie nákladov na vyradenie JE A-1. Ak by sa teda rátalo s týmto predpokladom, a nákladmi uvedenými v tabuľke Tabuľka 2, dostali by sme sa na úroveň celkových nákladov v sume približne 810 mil. €. Jedná sa však iba o odhad, ktorý nebol doposiaľ potvrdený, ale ako príklad na porovnanie poslúži dostatočne. Na odhadovaný výpočet nákladov, spojených s vyradovaním JE A-1, bez poruchy, by bolo nutné vykonať analýzu a simuláciu za použitia softvéru OMEGA, použitého pri vyradovaní JE A-1. Takáto simulácia by však bola z pohľadu samotného vyradovania elektrárne JE A-1 zbytočná a neefektívna. Jej spracovanie v budúcnosti a porovnanie týchto simulovaných nákladov pri prevádzke bez poruchy s celkovými nákladmi vyloženými na vyradovanie JE A-1 by bolo zaujímavé a mohlo by slúžiť ako memento toho, ako dokáže zasiahnuť akákoľvek porucha jadrového zariadenia do chodu a života jadrového zariadenia od jeho uvedenia do prevádzky až po ukončenie prevádzky a celkové vyradenie a likvidáciu. [7]

Z tabuliek, Tabuľka 2. a Tabuľka 1., je zrejmé, že celkové predpokladané náklady na vyradovanie JE V-1 sú menšie ako celkové predpokladané náklady na vyradovanie JE A-1. Treba ešte pripomenúť, že JE V-1 pozostáva z dvoch blokov s výkonom 440MWe čo je oproti jednému bloku s výkonom 150MWe pri JE A-1, značný rozdiel. Teoreticky možno náklady na vyradovanie JE V-1 rozdeliť na polovicu, čo činí zokrúhlene 620 miliónov eur na vyradenie jedného bloku. Táto suma tvorí približne polovicu z nákladov na vyradovanie elektrárne JE A-1, ktoré boli na úrovni 1 232 miliónov eur za obdobie I. až V. etapy vyradovania JE A-1. Na tomto porovnaní je patrný vplyv poruchy na celkové náklady na vyradovanie JE A-1. Do tohto porovnania neboli zahrnuté prostriedky, ktoré boli u oboch elektrární použité vo fáze odstavovania jadrových zariadení po skončení ich prevádzky. [1]

Tabuľka 1  
Predpokladané celkové náklady na vyradenie JE V-1 [8], [9]

| Rok   | Zdroje financií      |             |            | Celkové náklady(€)   |
|---|----------------------|-------------|------------|----------------------|
|   | Národný jadrový fond | JAVYS, a.s. | BIDSF      |                      |
| <b>I. etapa vyradovania JE-V1</b>                                 |                      |             |            |                      |
| 2011  | 7 835 280            | 7 298 773   | 10 936 129 | 26 070 182           |
| 2012  | 7 868 682            | 12 990 653  | 25 448 338 | 46 307 673           |
| 2013  | 17 556 993           | 1 191 782   | 25 774 314 | 44 523 089           |
| 2014  | 19 482 985           | 989 870     | 46 605 562 | 67 078 417           |
| <b>Celkové náklady na I. etapu vyradovania JE V-1</b>             |                      |             |            | <b>183 979 361</b>   |
| <b>II. etapa vyradovania JE V-1</b>                               |                      |             |            |                      |
| 2015  | 17 821 832           | 1 534 266   | 32 389 849 | 51 745 947           |
| 2016  | 17 216 178           | 784 606     | 27 853 127 | 45 853 911           |
| 2017  | 17 312 759           | 1 045 145   | 35 817 132 | 54 175 036           |
| <b>Celkové odhadované náklady na II. etapu vyradovania JE V-1</b> |                      |             |            | <b>1 055 020 639</b> |
| <b>Celkové odhadované náklady na vyradenie JE V-1</b>             |                      |             |            | <b>1 239 000 000</b> |



Tabuľka 2

Celkové predpokladané náklady na vyradenie JE A-1. [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20]

| Zdroje financií  |                 |                       |                                 |                     |
|--|-----------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------|
| Štátne financie  |                 |                       |                                 |                     |
| Rok  | Štátny rozpočet | Štátny fond likv./NJF | Slovenské elektrárne/JAVYS,a.s. | Celkové náklady (€) |
| Ukončovanie prevádzky reaktora                             |                 |                       |                                 |                     |
| 1980-1994  | 0               | 0                     | 198 269 830                     | 198 269 830         |
| Projekt vyradovania JE A-1 I.etapa                         |                 |                       |                                 |                     |
| 1995   | 0               | 0                     | 37 311 860                      |                     |
| 1996   | 11 383 870,00   | 8 386 580,00          | 13 823 700,00                   | 33 594 150,00       |
| 1997   | 6 891 670,00    | 30 926 800,00         | 30 098 890,00                   | 67 953 360,00       |
| 1998   | 10 875 720,00   | 46 380 530,00         | 24 809 190,00                   | 82 065 440,00       |
| I.etapa vyradovania JE A-1                                 |                 |                       |                                 |                     |
| 1999   | 4 230 510,00    | 41 831 510,00         | 21 172 270,00                   | 67 234 300,00       |
| 2000   | 3 300 040,00    | 13 019 430,00         | 20 682 840,00                   | 37 002 310,00       |
| 2001   | 3 234 210,00    | 14 625 450,00         | 24 803 150,00                   | 42 662 810,00       |
| 2002   | 0               | 22 814 310,00         | 25 054 760,00                   | 47 869 080,00       |
| 2003   | 0               | 12 007 390,00         | 24 832 580,00                   | 36 839 970,00       |
| 2004   | 0               | 22 617 680,00         | 9 517 880,00                    | 32 135 570,00       |
| 2005   | 0               | 24 783 120,00         | 12 849 620,00                   | 37 632 740,00       |
| 2006   | 0               | 26 670 050,00         | 0                               | 26 670 050,00       |
| 2007   | 0               | 40 832 410,00         | 0                               | 40 832 410,00       |
| 2008   | 0               | 34 847 460,00         | 0                               | 34 847 460,00       |
| Náklady na I. etapu vyradovania JE A-1                     |                 |                       |                                 | 403 726 700,00      |
| II. etapa vyradovania JE A-1                               |                 |                       |                                 |                     |
| 2009   | 0               | 45 094 304            | 0                               | 45 094 304          |
| 2010   | 0               | 47 385 566            | 0                               | 47 385 566          |
| 2011   | 0               | 35 020 278            | 2 129 628                       | 37 149 906          |
| 2012   | 0               | 16 800 024            | 20 145 244                      | 36 945 268          |
| 2013   | 0               | 39 172 769            | 3 668 866                       | 42 841 635          |
| 2014   | 0               | 37 628 573            | 3 900 736                       | 41 529 309          |
| 2015   | 0               | 45 505 957,13         | 2 501 042,87                    | 48 007 000          |
| 2016   | 0               | 43 456 442,94         | 3 117 557,06                    | 46 574 000          |
| Náklady na II. etapu vyradovania JE A-1                    |                 |                       |                                 | 345 526 988         |
| III.etapa vyradovania JE A-1                               |                 |                       |                                 |                     |
| 2017   | 0               | 45 335 220,01         | nezistené                       | 45 335 220,01       |
| 2018   | 0               | 45 257 880            | nezistené                       | 45 257 880          |
| 2019   | 0               | 33 389 000            | nezistené                       | 33 389 000          |
| 2020   | 0               | 33 717 000            | nezistené                       | 33 717 000          |
| Náklady na III. etapu vyradovania JE A-1                   |                 |                       |                                 | 157 699 100         |
| Predpokladané náklady na IV. a V. etapu vyradovania JE A-1 |                 |                       |                                 | 325 836 000         |
| Celkové predpokladané náklady                              |                 |                       |                                 | 1 614 671 568       |
| Predpokladané celkové náklady za obdobie I. až V. etapy    |                 |                       |                                 | 1 232 788 788       |

Tabuľka 3

Porovnanie elektrární JE A-1 a JE V-1 [21], [23], [24]

| Elektrárň | Rok začiatku prevádzky | Rok ukončenia prevádzky | Predpokladaný rok vyradenia | Predpokladané náklady na vyradenie (€) | Dodaná energia(GWh) | Doba prevádzky (h) |
|-----------|------------------------|-------------------------|-----------------------------|--|---------------------|--------------------|
| JE A-1    | 1972                   | 1977                    | 2033                        | 1 614 984 468                          | 916                 | 19 261             |
| JE V-1    | 1978                   | 2006                    | 2025                        | 1 237 000 000                          | 159 010             | 399 625            |

Na vytvorenie predstavy o tom, ako sa tieto elektrárne líšia poslúži aj tabuľka Tabuľka 3. Tu možno vidieť odhadovanú dobu vyradovania týchto dvoch jadrových zariadení. A taktiež odhad nákladov na ich vyradenie. Z tohto porovnania je badateľný aj rozdiel časového horizontu vyradovania týchto jadrových zariadení. Doba vyradovania JE A-1 je oproti dobe vyradovania JE V-1 dlhšia o 39 rokov čo je alarmujúco dlhý čas. Tento posun bol spôsobený spomínanou poruchou, kedy samotné vyvážanie paliva z reaktora zabralo veľmi dlhý časový horizont.

Na cenu vyradenia JE A-1 mala vplyv najmä porucha a neznalosť konštruktérov. Preto je potrebné pri každej novej montáži jadrového zariadenia myslieť na bezpečnosť prevádzky

a oboznámenie sa s konštrukciu reaktora. Zároveň budovanie nových a rekonštrukciu starších zariadení na spracovanie RAO je potrebné uskutočňovať pred začatím prevádzky jadrového zariadenia alebo počas prevádzky zariadenia čo má následne pozitívny vplyv na časové náklady, jednoduchosť procesu a menšie náklady pri vyradovaní jadrového zariadenia. [6]

Náklady spojené s vyradovaním JE A-1 už nie je možné výrazne znížiť, nakoľko projekt vyradovania JE A-1 je z väčšej časti zrealizovaný. Avšak dokážeme sa poučiť z okolností, ktoré ovplyvnili náklady spojené s vyradovaním JE A-1. Vplyv poruchy je z predchádzajúceho porovnania zrejмый, teda sa k nemu netreba obsírne vyjadrovať. V súčasnosti je ochrana jadrových zariadení pred vznikom poruchových a havarijných situácií na oveľa vyššej úrovni ako tomu bolo v čase budovania a prevádzkovania JE A-1. Vznik poruchovej a havarijnej situácie však napriek tomu nie je s istotou vylúčený a isté percento možnosti vzniku poruchy tu stále ostáva. Výraznejšie ovplyvniteľné sú však náklady spojené so spracovaním rádioaktívneho odpadu a likvidáciou jadrového zariadenia. Použitie najnovších softvérových nástrojov, ktoré sú programované na výpočet nákladov na vyradovanie jadrových zariadení s prihliadnutím na typ zariadenia, ktoré má byť vyradené, je jedným z kľúčových faktorov ovplyvňujúcich náklady na vyradenie jadrových zariadení. Vplyv týchto programových prostriedkov na proces vyradenia jadrových zariadení spočíva v prepočte nákladov na jednotlivé etapy vyradenia, plánovanie prác v jednotlivých etapách a vypracovanie viacerých plánov vyradenia, ktoré sú následne schválené. [1]

Na našom území sa nachádza viacero jadrových zariadení, u ktorých sa dá predpokladať vyradenie v časovom horizonte desiatich až dvadsiatich rokov. Využitie technologických zariadení, ktoré boli použité pri vyradovaní JE A-1, môže pozitívne ovplyvniť náklady na vyradenie týchto zariadení a teda ich znížiť. Robotické manipulátory, ktoré boli využité pri vyradovaní JE A-1, najmä manipulátor MT-80A, boli usporiadané na dekontamináciu a odolávanie kontaminácii usporiadaním a krytím systémov umiestnených v tele zariadenia. Je teda možné ich znovu využiť na manipuláciu s kontaminovanými predmetmi v procese vyradovania jadrových zariadení. [1]

#### IV. ZHRNUTIE

Z uvedených porovnaní finančných nákladov na vyradenie jadrových zariadení JE A-1 a JE V-1, je možné badať vplyv poruchy na celkové finančné náklady spojené s projektom vyradovania JE A-1. Výrazne ovplyvnenie finančných nákladov, spojených s procesom vyradovania JE A-1, v tomto štádiu prakticky nie je možné. Je však možné vziať si ponaučenie z chýb, ku ktorým došlo počas prevádzkovania a následne aj v procese samotného vyradovania JE A-1.

Budúcnosť jadrovej energetiky, a jej rozvoj na našom území, je v značnej miere zabezpečená. S týmto súvisí nutné zabezpečenie blokov jadrových elektrární proti vzniku akejkoľvek poruchovej udalosti. Takáto udalosť spôsobuje okrem radiačne nebezpečného stavu tak isto aj navýšenie finančných, časových a ľudských zdrojov. Treba si teda vziať ponaučenie a nadobudnuté znalosti, získané z procesu vyradovania JE A-1, zužitkovať v procese vyradovania jadrových blokov v budúcnosti.

#### V. POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR a SAV podporenej grantom VEGA 1/0372/18 a tiež 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.

#### LITERATÚRA

- [1] P. Silagyi. *Analýza odstavenia jadrovej elektrárne A-1*. Bakalárska práca. 2019, [cit. 3.4.2019]
- [2] I. Galbička, M. Božík. *História prevádzky a vyradovania jadrového zariadenia A1*. 2015. Aktuality Javys [online]. 2015, [cit. 3.4.2019]. Dostupné na internete: < <https://www.javys.sk/data/web/dokumenty/Publikacie/a1/a1-ukoncenie-prevadzky.pdf> >
- [3] K. Feik, J. Kmošena, et.al. 2010. *Jadrová elektrárň A1 v kocke*. Jaslovské Bohunice: SNS, 2010, [cit. 3.4.2019]. ISBN 978-80-89090-76-1.

- [4] E. Ježík. 2017. *SMEblog* [online]. 2017. SME.sk, Aktualizované 25.1.2018. [cit. 3.4.2019]. Dostupné na internete < <https://ernestjezik.blog.sme.sk/c/471587/historia-atomky-a1-6-cast.html> >
- [5] JAVYS: *História* [online]. Dostupné na internete: <<https://www.javys.sk/sk/jadrove-zariadenia/jadrova-elektarren-a1/historia>. >
- [6] P. Gerhart, V. Nižňanský. 2007. *Projekt vyradovania JE A-1*. 2007. [cit. 5.4.2019]. Bezpečnosť jadrovej energie č.7/8.
- [7] V. Nižňanský, T. Fischer. 2007. *Vyradovanie jadrovej elektrárne A-1 po ukončení I. etapy*. 2007. [cit. 5.4.2019]. Bezpečnosť jadrovej energie č.7/8
- [8] JAVYS: *Výročná správa 2017*. [online]. 2017. [cit. 5.4.2019]. Dostupné na internete: <<https://www.javys.sk/data/web/dokumenty/vyrocne-spravy/vs-javys-2017-sk.pdf> >
- [9] JAVYS:2018. *Čerpanie prostriedkov EÚ na likvidáciu JE V1* [online]. 2018. [cit. 5.4.2019] Dostupné na internete < <https://www.javys.sk/mobile/sk/informacny-servis/aktuality-tlacove-spravy-napisali-o-nas/aktuality/1924-cerpanie-prostriedkov-eu-na-likvidaciju-je-v1> >
- [10] JAVYS: *Výročná správa 2008* [online]. 2008. [cit. 5.4.2019]. Dostupné na internete: <<https://www.javys.sk/data/web/dokumenty/vs-javys-2008-web.pdf> >
- [11] JAVYS: *Výročná správa 2009* [online]. 2009. [cit. 5.4.2019]. Dostupné na internete: < [https://www.javys.sk/data/web/dokumenty/vyrocne-spravy/V\\_S\\_JAVYS%202009\\_web.pdf](https://www.javys.sk/data/web/dokumenty/vyrocne-spravy/V_S_JAVYS%202009_web.pdf) >
- [12] JAVYS: *Výročná správa 2010* [online]. 2010. [cit. 5.4.2019]. Dostupné na internete: < <https://www.javys.sk/data/web/dokumenty/vyrocne-spravy/vs-javys-2010-web.pdf> >
- [13] JAVYS: *Výročná správa 2011* [online]. 2011. [cit. 5.4.2019]. Dostupné na internete: < <https://www.javys.sk/data/web/dokumenty/vyrocne-spravy/javys-vs-2011.pdf> >
- [14] JAVYS: *Výročná správa 2012* [online]. 2012. [cit. 5.4.2019]. Dostupné na internete: <<https://www.javys.sk/data/web/dokumenty/vyrocne-spravy/vs-javys-2012-sk.pdf> >
- [15] JAVYS: *Výročná správa 2013* [online]. 2013. [cit. 5.4.2019]. Dostupné na internete: < <https://www.javys.sk/data/web/dokumenty/vyrocne-spravy/vs-javys-2013-sk.pdf> >
- [16] L. Éhn. *Výročná správa o hospodárení NJF k 31.12.2014*. 2015. [cit. 5.4.2019]. Dostupné na internete < [http://www.njf.sk/dokumenty/rozpocet/vyrocna\\_sprava\\_o\\_hospod\\_a\\_cinnosti\\_njf\\_2014.pdf](http://www.njf.sk/dokumenty/rozpocet/vyrocna_sprava_o_hospod_a_cinnosti_njf_2014.pdf) >
- [17] Národný jadrový fond na vyradovanie jadrových zariadení a na nakladanie s vyhoretým jadrovým palivom a rádioaktívnymi odpadmi. 2014. *Vnútroštatny program nakladania s vyhoretým jadrovým palivom a rádioaktívnymi odpadmi v SR*. 2014. [cit. 5.4.2019]. Dostupné na internete < [http://www.njf.sk/dokumenty/politika\\_a\\_program/navrh\\_vnutrostatnej\\_politiky\\_a\\_vnutrostatneho\\_programu\\_ak\\_o\\_aktualizacia\\_strategie.pdf](http://www.njf.sk/dokumenty/politika_a_program/navrh_vnutrostatnej_politiky_a_vnutrostatneho_programu_ak_o_aktualizacia_strategie.pdf) >
- [18] L. Éhn. 2016. *Výročná správa o hospodárení NJF k 31.12.2015*. 2016. [cit. 5.4.2019]. Dostupné na internete < [http://www.njf.sk/dokumenty/rozpocet/vyrocna\\_sprava\\_o\\_hospod\\_a\\_cinnosti\\_njf\\_2015.pdf](http://www.njf.sk/dokumenty/rozpocet/vyrocna_sprava_o_hospod_a_cinnosti_njf_2015.pdf) >
- [19] L. Éhn. 2017. *Výročná správa o hospodárení NJF k 31.12.2016*. 2017. [cit. 5.4.2019]. Dostupné na internete < [http://www.njf.sk/dokumenty/rozpocet/vyrocna\\_sprava\\_o\\_hospodareni\\_a\\_cinnosti\\_njf\\_k\\_31\\_12\\_2016.pdf](http://www.njf.sk/dokumenty/rozpocet/vyrocna_sprava_o_hospodareni_a_cinnosti_njf_k_31_12_2016.pdf) >
- [20] L. Éhn. 2018. *Výročná správa o hospodárení NJF k 31.12.2017*. 2018. [cit. 5.4.2019]. Dostupné na internete < [http://www.njf.sk/dokumenty/rozpocet/vyrocna\\_sprava\\_o\\_hospodareni\\_a\\_cinnosti\\_njf\\_k\\_31\\_12\\_2017.pdf](http://www.njf.sk/dokumenty/rozpocet/vyrocna_sprava_o_hospodareni_a_cinnosti_njf_k_31_12_2017.pdf) >
- [21] L. Éhn. 2019. *Výročná správa o hospodárení NJF k 31.12.2018*. 2019. [cit. 5.4.2019]. Dostupné na internete < [http://www.njf.sk/dokumenty/rozpocet/vyrocna\\_sprava\\_o\\_hospodareni\\_31\\_12\\_2018\\_verzia%2027022019.pdf](http://www.njf.sk/dokumenty/rozpocet/vyrocna_sprava_o_hospodareni_31_12_2018_verzia%2027022019.pdf) >
- [22] I. Galbička, M. Božík. *História prevádzky a vyradovania jadrového zariadenia A1*. 2015. Aktuality Javys [online]. 2015, [cit. 4.4.2019]. Dostupné na internete: < <https://www.javys.sk/data/web/dokumenty/Publikacie/A-1/A-1-historia.pdf> >
- [23] JAVYS. *Výroba elektriny a životné prostredie. Jadrová elektrárň V1* [online]. [cit. 4.4.2019] Dostupné na internete < <https://www.javys.sk/sk/jadrove-zariadenia/jadrova-elektarren-v1/vyroba-elektрины-a-zivotne-prostredie> >
- [24] JAVYS. *Hodnotenie prevádzky. Jadrová elektrárň V1* [online]. [cit. 4.4.2019]. Dostupné na internete <<https://www.javys.sk/sk/jadrove-zariadenia/jadrova-elektarren-v1/hodnotenie-prevadzky>>

# Odolné mobilné siete na doručovanie obsahu - REMONET

<sup>1</sup>Ján PAPAJ

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

<sup>1</sup>jan.papaj@tuke.sk

**Abstract** — Cieľom projektu REMONET (APVV-17-0208) je výskum odolnej dátovej komunikácie prostredníctvom mobilných viacpreskokových dátových sietí nielen v prostredí inteligentných miest (Smart Cities), ale aj v krízových situáciách, ktoré môžu byť spôsobené živelnými či technologickými pohromami. Výskum v oblasti odolnej dátovej komunikácie je do značnej miery úzko prepojený s rozvojom inteligentných miest, kde sa bude prostredníctvom nových mobilných sietí prenášať veľké množstvo dát. Koncept inteligentných miest sa spája aj s využívaním nových a inovatívnych mobilných komunikačných systémov, ktoré budú umožňovať používateľom účinnú a bezproblémovú komunikáciu medzi jednotlivými mobilnými terminálmi. Výskum bude teda zameraný na integrovanie senzorových sietí (WSN), mobilných ad-hoc sietí (MANET), sietí tolerujúcich oneskorenie (DTN) a dronových sietí (DRONET) za účelom vytvorenia jednotnej viacpreskokej mobilnej siete, ktorá bude využívaná v prostredí inteligentných miest na doručovanie obsahu. Do popredia sa teda dostáva potreba vytvorenia nového typu end-to-end komunikácie, ktorá bude založená na myšlienke, že nasledujúci skok medzi jednotlivými uzlami nie je vopred známy. Projekt je zameraný teda na inovatívne využitie viacpreskokových sietí, ktoré vytvoria jednotnú mobilnú sieť bez potreby infraštruktúry a umožnia odolnú dátovú komunikáciu aj v prípadoch, kedy existujúce siete s infraštruktúrou nebudú schopné poskytovať dané typy služieb. Projekt sa zameriava na tri hlavné oblasti výskumu. Prvá oblasť sa zaoberá novými smerovacími technikami a protokolmi. Druhá časť venuje vysokorýchlostným prenosom dát a tretia časť výskumu bude venovaná doručovaniu obsahu v danom type sietí.

**Keywords** — MANET, DTN, DRONET, WSN

## I. ÚVOD

Novým trendom súčasnosti sa stávajú inteligentné mestá a inteligentné zariadenia [1,2]. Rozvoj inteligentných mobilných zariadení s integrovanými a vstavanými senzormi, výpočtovými zdrojmi a bezdrôtovými technológiami je spojený s požiadavkou na vytvorenie inteligentných mobilných sietí, ktoré budú umožňovať využívanie rozličných typov mobilných sietí. V prostredí inteligentných miest poskytujú integrované senzory na mobilných zariadeniach široké spektrum ich využiteľnosti. Vytvorenie silnej komunikačnej infraštruktúry je potrebné na spájanie inteligentných senzorov, terminálov, ale aj ľudí. Na jej efektívne využívanie je potrebné navrhovať nové typy mobilných sietí, ktoré budú poskytovať nové možnosti mobilnej komunikácie. Takými sieťami sú mobilné viacpreskokové siete (Mobile Ad-Hoc Network - MANET), senzorové siete (známe aj ako MESH siete), ale aj v súčasnosti dynamicky sa vyvíjajúce dronové siete (DRONET). Koncept inteligentných miest sa spája aj s využívaním nových a inovatívnych mobilných komunikačných systémov, ktoré budú umožňovať používateľom účinnú a bezproblémovú komunikáciu medzi rozličnými terminálmi nachádzajúcim sa v danom prostredí. Poskytovanie takéhoto typu komunikácie si vyžaduje nielen nasadenie nových typov mobilných sietí, ale aj aplikovanie nových inovatívnych metód umožňujúcich kooperáciu medzi nimi. Potreba využívania nových typov mobilných sietí sa stala základným prvkom každodenného života, najmä kvôli rýchlemu pokroku v oblasti internetu vecí (IoT), Big Data a inteligentných telefónov [2,10].

Kľúčovým problémom sa stáva teda otázka, akým spôsobom je možné doručovať obsah (Content Delivery Networks - CDN) medzi jednotlivými mobilnými zariadeniami v daných sieťach. Infraštruktúra inteligentných miest musí integrovať všetky tieto bezdrôtové siete tak, aby boli prístupné a kontrolovateľné pre aplikácie a služby [2,3]. S rýchlym nástupom využívania IoT je potreba samo konfigurovateľných mobilných sietí ešte výraznejšia. Výskum v oblasti inteligentných miest poukazuje na potrebu využívania nových odolných mobilných sietí, ktoré zmenia pohodlie a kvalitu života obyvateľov. Rozvojom nových typov mobilných

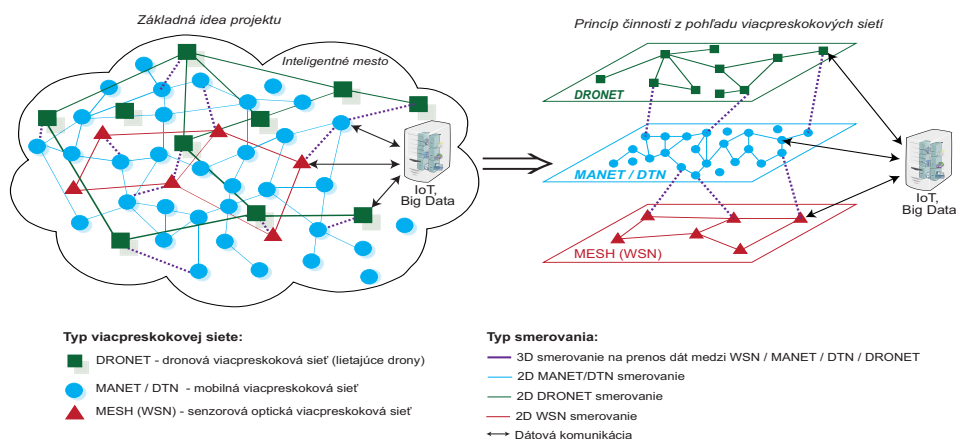
sietí sa ešte výraznejšie dostáva do popredia otázka odolnosti siete voči krízovým situáciám. Stačí si len spomenúť na všetky živelné pohromy, kde mobilné siete boli zničené resp. znefunkčnené a nemohli poskytovať odolnú komunikáciu [4,5]. Živelné pohromy či nešťastia do značnej miery degradujú výkonnosť akýchkoľvek existujúcich komunikačných sietí v daných oblastiach.

Výskum v oblasti odolnej komunikácie je stále na počiatku. Rozvojom inteligentných miest sa potreba takejto komunikácie ešte zvyšuje. Predkladaný projekt poskytuje ucelený pohľad na využívanie mobilných viacpreskokových sietí na odolnú dátovú komunikáciu. V súčasnosti je výskum odolnej komunikácie zameraný predovšetkým na scenáre, kedy dochádza k náhodnému (neúmyselnému) zlyhaniu jednotlivých alebo viacerých uzlov, ktoré sa nachádzajú v komunikačných sieťach. To vedie k potrebe nasadenia a využívania nových typov viacpreskokových mobilných sietí bez infraštruktúry, ktoré by umožňovali odolnú komunikáciu a prenos dát aj v situáciách, kedy siete s infraštruktúrou nie sú toho schopné [5,6]. V súčasnej dobe doposiaľ nebol navrhnutý systém či model, ktorý by umožňoval súčasné využívanie viacpreskokových sietí na doručovanie obsahu.

## II. ZÁKLADNÁ IDEA PROJEKTU REMONET

Výskum v oblasti odolnej dátovej komunikácie je do značnej miery úzko prepojený s rozvojom inteligentných miest, kde sa bude prostredníctvom nových mobilných sietí prenášať veľké množstvo dát. Do popredia sa teda dostáva potreba vytvorenia nového typu end-to-end komunikácie, ktorá bude založená na myšlienke, že nasledujúci skok medzi jednotlivými uzlami nie je vopred známy a komunikačné cesty sa vytvárajú na základe aktuálnych informácií [5, 10].

V rámci projektu sme sa teda zamerali na inovatívne využitie viacpreskokových sietí, ktoré vytvoria jednotnú odolnú mobilnú sieť umožňujúcu doručovanie obsahu v oblastiach, ktoré nie sú pokryté signálom zo sietí s infraštruktúrou. Koncept inteligentných miest sa spája s využívaním nových a inovatívnych mobilných komunikačných systémov, ktoré budú umožňovať používateľom účinnú a bezproblémovú komunikáciu medzi jednotlivými mobilnými terminálmi. Predkladaný projekt teda poskytuje ucelený pohľad na využívanie mobilných viacpreskokových sietí na odolnú dátovú komunikáciu, ktoré je možné využiť v oblasti inteligentných miest, ale aj v krízových situáciách. V rámci projektu bude realizovaný základný výskum v oblasti interakcie medzi jednotlivými sieťami ako sú MESH, MANET, DTN a DRONET, ktoré budú umožňovať odolnú dátovú komunikáciu. Jednotlivé siete budú tvoriť autonómne siete, ktoré však budú medzi sebou spolupracovať za účelom doručovania obsahu. Hlavná myšlienka projektu je znázornená na obrázku č.1.



Obr. 1 Základná myšlienka a idea projektu REMONET.

Navrhované riešenie umožňuje vytvorenie viacpreskokovej dátovej siete pozostávajúcej z MESH, MANET, DTN a DRONET, ktorá nám umožní prenos smerovacích dát medzi jednotlivými sieťami, ako aj doručovanie obsahu. Z pohľadu výskumu odolnej komunikácie sa vo výskume je potrebné zamerať na 3 základné problémy: a) odolné smerovanie vo viacpreskokových sieťach využívajúce 2D a 3D smerovacie techniky a algoritmy, b)

vysokorýchlostný prenos dát prostredníctvom viacpreskokových sietí, c) doručovanie obsahu prostredníctvom viacpreskokových sietí.

#### *A. Mobilné ad-hoc siete a REMONET*

MANET je autonómna sieť, kde sú uzly v sieti pripojené bez potreby infraštruktúry, čo poskytuje efektívne a finančne nenáročné riešenie na prenos dát v prostredí inteligentných miest. Navyše mobilné uzly sa môžu ľubovoľne pohybovať, čo umožní vytváranie nových komunikačných liniek. Na funkčnosť MANET siete má zásadný vplyv smerovanie a smerovací algoritmus. Smerovací algoritmus je zodpovedný za vytvorenie spojenia medzi jednotlivými uzlami. MANET je definovaná ako samo organizovaná množina bezdrôtových mobilných uzlov, ktorá vytvára dočasnú a dynamickú bezdrôtovú sieť bez infraštruktúry. MANET je tiež známa ako samo konfigurovateľná sieť, čo znamená, že nevyžaduje centrálny systém riadenia so špecifickými zodpovednosťami v konfigurácii [5,6]. Výskum v MANET sa zameriava na smerovanie, spotrebu energie ako aj optimalizáciu efektívnosti MANET pri prenose dát, ale hlavnou výzvou je návrh algoritmov, ktoré dokážu eliminovať rozpojenia komunikačných liniek, ktoré sú spôsobené mobilitou. Mobilita teda spôsobuje zmeny topológie, ktoré spôsobujú následne môžu v negatívnom smere ovplyvniť smerovanie.

#### *B. Siete tolerujúce oneskorenie a REMONET*

Siete tolerujúce oneskorenie (Delay Tolerant Network - DTN) sú špeciálny typ MANET, ktorá umožňuje prenos dát aj v situáciách, kedy neexistuje spojenie medzi jednotlivými mobilnými uzlami [7]. DTN sú tvorené z mobilných uzlov, ktoré nemusia mať konektivitu na ostatné uzly. Kľúčovou vlastnosťou je mobilita uzlov, ktorá slúži ako jeden z nástrojov na vytváranie príležitostných stretnutí uzlov, ale aj dlhšie trvajúcich rozpojení v sieti. Rozpojenia sú následne príčinou problémov pri rýchlom doručovaní správ medzi zdrojom a miestom určenia. Komunikácia DTN sa preto uskutočňuje preložením správ pomocou mechanizmu nazývajúcего sa „store-carry-forward“ [7]. Výhodou týchto sietí je aj ich možnosť využitia pre mobilné terminály, roboty ako aj bezpilotnými objektmi. DTN siete nachádzajú využitie pre záchrannárske, ako aj vyhľadávacie situácie. Použitie mechanických strojov v daných situáciách môže byť obzvlášť užitočné pri priemyselných a prírodných haváriách, kde v dôsledku nepriaznivých biologických podmienok, napríklad znečistenia alebo vysokých teplôt, nie je možná voľná prevádzka ľudí a zvierat. V dnešnej dobe nám vývoj malých lietajúcich strojov umožňuje realizáciu rôznych aplikácií, okrem iného nápadov na komunikáciu a snímanie DTN. To rozširuje šance na rýchly pohyb v ťažkých oblastiach. DTN siete nachádzajú široké uplatnenie aj v autonómnych lietajúcich zariadeniach.

#### *C. Bezdrôtové senzorové siete a REMONET*

Bezdrôtové senzorové siete (Wireless Sensor Networks - WSN, tiež známe ako MESH) nachádzajú široké uplatnenie v inteligentných mestách a zohrávajú dôležitú úlohu pri zbere a prenose dát z rozličných senzorov. S požiadavkami na životné a bezpečnostné štandardy inteligentného mesta sa stalo nevyhnutnosťou, aby WSN podporovali rozličné typy služieb, ako je monitorovanie zdravia, spotreba elektrickej energie, inteligentná doprava, sledovanie vizuálnych cieľov a sledovanie kamerovými systémami [8]. Sensory sú náhodne distribuované v sieti a tak spolupracujú navzájom na poskytovaní servisných údajov prostredníctvom prenosu cez viacpreskovú sieť. Taktiež umožňujú prenos dát do riadiacich centier, ktoré môžu komunikovať s bežnými sieťami, napríklad s internetom. V súčasnej dobe sa v senzorových sieťach využívajú FSO systémy. FSO (Free Space Optics) siete, menovite optické bezdrôtové siete, sú bezdrôtové telekomunikačné systémy, ktoré využívajú voľný priestor ako prenosové médium na doručovanie optických dátových signálov s vysokými prenosovými rýchlosťami. Výskum FSO systémov sa začal v šesťdesiatych rokoch minulého storočia. Komunikácia FSO je technológia priamej viditeľnosti (LOS - line-of-sight), ktorá pracuje pri vlnových dĺžkach 850 nm, 1300 nm a 1550 nm, čo zodpovedá optickým spojov v 1., 2. a 3. prenosovom okne, pretože pri týchto vlnových dĺžkach sú nízke straty, menej ako 0.2 dB/km, môžu sa používať rovnaké komerčné komponenty ako pri optických vláknových systémoch a sú bezpečné pre zdravie človeka (oči a pokožku) [8]. Napriek tomu, že optické bezdrôtové spojenia poskytujú vysoké dátové rýchlosti, neboli doposiaľ tieto komunikácie (FSO) komerčne a plošne nasadené. Vzhľadom na nové pokroky v oblasti optiky a komunikačných zariadení, sa obnovil a zvýšil

záujem o analýzu a zlepšenie bezdrôtových optických spojení a prijatie technológie FSO pre bezdrôtové prístupové siete. Komunikačný systém FSO je sľubným kandidátom pre bezdrôtové komunikačné systémy novej generácie, pretože ponúkajú efektívne riešenie pre prístup na tzv. poslednú míľu, pracujú v bezlicenciovaných pásmach, vyznačujú sa vysokými prenosovými rýchlosťami (sú na trhu linky s prenosovou rýchlosťou 10 Gbps) a predstavujú „zelenú“ komunikáciu, sú ekonomicky efektívne, sú back-haul pre drahé optické vláknové komunikácie, sú ľahko naladiteľné, sú back-haul pre bunkovú komunikáciu a sú bezpečné (čo sa týka účinkov na ľudí a životné prostredie). Vysielaný optický signál je ovplyvnený rôznymi faktormi pred príchodom do prijímača, ako sú napr. chyby vzájomného posunutia osi vysielača a prijímača, geometrické straty, šum pozadia, straty vplyvom počasia a atmosférické turbulencie. V FSO systémoch sa používa niekoľko modulačných schém na zmiernenie účinkov turbulencie podľa požadovanej energetickej účinnosti, cieľovej spektrálnej účinnosti a koherentnej alebo nekoherentnej detekcie. Poskytovatelia služieb a návrhári sietí by však mali brať do úvahy aj problematiku zvládnutia zhoršenia kvality spojenia spôsobeného útlmom atmosféry, ako je absorpcia, rozptyl a lom pri jasnom počasí, ako aj za zlých poveternostných podmienok, udržiavať spoľahlivé spojenie a podporovať požadovanú úroveň QoS (Quality of Service) používateľom FSO siete. Mnohé praktické riešenia boli navrhnuté tak, aby sa prispôbili meniacim sa atmosférickým podmienkam, ako sú techniky rozmanitosti, hybridné prenosové RF/FSO systémy, algoritmy pre smerovanie viacerých ciest a (re)konfigurácie autonómnych typológií [8]. Podporujú prenos na vzdialenosti od stoviek metrov až po niekoľko kilometrov, pričom rýchlosti prenosu dát sa pohybujú od stoviek Mbps po viac Gbps. K dnešnému dňu bola väčšina FSO transceiverov použitých pre stacionárne terminály a linky sú zosúladené manuálnymi konfiguráciami. Niektorí vedci skúmajú náročnejšie scenáre mobilného prostredia a autonómnej topológie [8].

#### *D. Dronové bezdrôtové siete v projekte REMONET*

Sieť DRONET, tiež známa ako FLYNET (Flying Ad-hoc Networks), je využívaná pre potreby bezpilotných leteckých dopravných prostriedkov (UAV - Unmanned Air Vehicle), ktoré komunikujú navzájom bez potreby prístupu k prístupovému bodu, pričom však aspoň jeden z nich musí byť pripojený k pozemnej základni alebo satelitu [9]. UAV pracujú bez ľudskej pomoci, ako napríklad autopilot. V posledných rokoch sa výskum venuje lacnejším a menším bezdrôtovým komunikačným zariadeniam, a to hlavne sieťam FANET. V dnešnej dobe sa sieť FANET používa v rôznych aplikáciách ako sú vojenské a civilné, napríklad riadenie požiaru a monitorovanie katastrof [4]. Vzhľadom na to, že každý typ siete má vlastnú špecifikáciu a použitie protokolu závisí od tejto špecifikácie, je dôležité používať spoľahlivý protokol pre tento typ sietí a skontrolovať ich výkonnosť pomocou simulácie. Využívanie protokolu ovplyvňujú dva faktory: prvý z nich je model mobility a druhý je komunikačný model medzi ostatnými sieťami. FANET je špeciálnym prípadom MANET [9], ktorá pozostáva z UAV uzlov, lietajúcimi na oblohe, ktoré môžu automaticky letieť bez ľudskej pomoci a prístupového bodu, ako je satelit alebo pozemná základňa, na pripojenie k sieti aspoň jedného z nich, podľa prenosu dát z jednej pozemnej základne do druhej. Sieť, v ktorej je vytvorené prepojenie medzi každým UAV a prístupovým bodom, nie je špecifikovaná ako sieť FANET. Vzhľadom k tomu, že multi-UAV majú mnoho ďalších výhod, ako je dynamická topológia siete, stále existuje problém komunikácie medzi UAV zariadeniami v sieti FANET. Tento problém je riešený pomocou dvoch typov protokolov pre komunikáciu, prvý je medzi samotnými UAV a druhý medzi UAV a prístupovým bodom [9]. V UAV komunikácii každé zariadenie UAV komunikuje s iným UAV priamo alebo pomocou viacpreskokevej komunikácie. V inom type komunikácie UAV vytvára spojenie na prenos dát s infraštruktúrou, ako je pozemná základňa alebo satelit [9].

### III. VÝSKUMNÉ CIELE PROJEKTU REMONET

V oblasti MANET a DTN sietí sa project zameriava na odolné smerovacie techniky, ktoré si vyžadujú návrh efektívnych algoritmov, ktoré by umožňovali vytvorenie komunikačných ciest nielen v danej sieti, ale aj medzi nimi navzájom. V rámci riešenia projektu sa budeme venovať problematike návrhu efektívnych metód smerovania, ktoré umožnia interakciu medzi jednotlivými typmi sietí, a ktoré umožnia efektívny prenos dát medzi jednotlivými terminálmi resp. umožnia doručovanie obsahu. Výskumné aktivity sa budú zameriavať aj na odolnú dátovú komunikáciu, využívajúcu 2D a 3D smerovacie algoritmy, čím sa dosiahne prenos dát nielen medzi jednotlivými terminálmi tvoriacimi daný typ sietí, ale aj medzi jednotlivými typmi



samotných sietí. Inovatívnosť projektu spočíva aj v riešení problematiky odolnej komunikácie medzi rozličnými typmi viacpreskokových sietí, ktoré k svojej činnosti nebudú potrebovať žiadnu infraštruktúru. Na poskytovanie odolnej komunikácie je teda potrebné definovať nové smerovacie techniky, ktoré budú zohľadňovať nie len aktuálnu konfiguráciu a stav siete, ale aj požiadavky na daný typ služieb. Smerovacie algoritmy budú musieť zohľadňovať aj dostupnosť komunikačných ciest vytvorených smerovacími algoritmi, ale budú musieť umožniť efektívne využitie daného spektra. Týmto spôsobom sa vytvorí odolná dátová sieť umožňujúca doručovanie obsahu pre inteligentné mestá s dôrazom na IoT a Big Data. Na vyriešenie tohto originálneho inovatívneho cieľa bude potrebné vyriešenie troch základných problémov:

- Výskum a vývoj 2D a 3D smerovacích algoritmov, ktoré by umožňovali smerovacím protokolom nájsť a vytvorenie komunikačnej cesty nielen v rámci danej siete, ale aj medzi jednotlivými sieťami takým spôsobom, aby bolo možné doručiť obsah medzi jednotlivými terminálmi nachádzajúcimi sa v jednotlivých sieťach.
- Výskum a vývoj smerovacích protokolov a algoritmov, ktoré budú umožňovať efektívne využívanie dostupného spektra. Smerovacie algoritmy musia byť schopné dané spektrum detegovať a následne alokovať na prenos dát.
- Výskum a vývoj oportunistických algoritmov, ktoré by umožňovali vyberať na doručovanie obsahu také mobilné uzly, ktoré budú schopné vykonať prenos dát.
- Výskum a vývoj alternatívnych metód prenosu dát využívajúcich DTN sieť a model store-carry-forward v prípadoch, že smerovacie algoritmy pre viacpreskokové siete nie sú schopné nájsť komunikačnú cestu.

Druhou oblasťou je využívanie optických senzorových sietí, ktoré budú využívať FSO systémy na prenos dát medzi jednotlivými sieťami, ako aj inteligentnými mestami. Výskum bude zameraný na overenie inovatívneho prístupu v otázke tvrdého prepínania v hybridnom systéme FSO/RF na základe RSSI parametra. Cieľom bude evalúovať možnosti využitia metód strojového učenia v procese predikcie RSSI parametra. Pri tomto výskume chceme využiť metódy hĺbkovej analýzy dát, ktorá bude založená na princípe hľadania vzorov prítomných v skupine zdanlivo nesúvisiacich a náhodne sa meniacich veličín. Tento princíp chceme aplikovať na minimálne 6 dlhodobu monitorovaných parametrov prenosového kanála (teplota, tlak a vlhkosť vzduchu, rýchlosť vetra, viditeľnosť a koncentrácia častíc vo vzduchu), ktoré budú slúžiť ako vstupné dáta pre natrénované predikčné modely s cieľom spoľahlivo odhadnúť vývoj parametra RSSI. Na základe výsledkov predikcie skúmaných metód sa ukáže, ktorý natrénovaný model bude možné aplikovať do systému tvrdého prepínania hybridného FSO/RF systému. Na vyriešenie tohto originálneho inovatívneho cieľa bude potrebné vyriešenie štyroch základných problémov:

- Návrh a realizácia monitorovacieho systému pre meranie poveternostných podmienok atmosférického prenosového kanála medzi FSO transceivermi, pretože rozhodovacím parametrom v procese tvrdého prepínania hybridnej FSO/RF linky je ukazovateľ sily, resp. intenzity prijatého optického výkonu RSSI. Vyžiarený optický lúč je nepriaznivo ovplyvňovaný samotnými poveternostnými vplyvmi atmosféry, ktoré je možné kvantifikovať monitorovaním teploty vzduchu, tlaku, vlhkosti, rýchlosti vetra, viditeľnosti a koncentrácie častíc vo vzduchu.
- Návrh a implementácia riešenia získavania a zaznamenávania parametra RSSI pre FSO linku, pretože cyklické zaznamenávanie parametra RSSI do databázy je nevyhnutný predpoklad pre jeho ďalšie spracovanie v procese tréningu modelov strojového učenia. Parameter RSSI predstavuje tzv. target alebo výstupnú maticu hĺbkovej analýzy dát. Vhodne navrhnuté modely je/bude možné implementovať (aspoň dúfame) do systému tvrdého prepínania hybridných FSO/RF liniek.
- Návrh optimálnej vstupnej matice prípadov pre vybrané metódy hĺbkovej analýzy dát (strojového učenia) na predikciu parametra RSSI. Spoľahlivá predikcia parametra RSSI je kriticky závislá na niekoľkých dôležitých krokoch. V tomto výskume sa chceme zamerať na analýzu dvoch základných prístupov hĺbkovej analýzy dát, ktoré budú použité na predikciu RSSI, a to: regresia a klasifikácia. Obidva prístupy sa ďalej dajú aplikovať na rôzne typy metód strojového učenia, napr. metódy založené na princípe rozhodovacích stromov.
- Automatizovaná evalúácia regresných a klasifikačných metód strojového učenia v procese predikcie parametra RSSI pre tvrdé prepínanie hybridnej FSO/RF linky.

Tretia výskumná aktivita bude zameraná na riešenie problematiky prenosu dát a doručovanie obsahu prostredníctvom navrhovanej odolnej viacpreskokovej siete. Dôraz výskumných aktivít bude zameraný na nepilotované lietajúce prostriedky, ktoré budú vybavené viacpohľadovými kamerovými systémami, ktoré bude možno využiť v prostredí inteligentných miest ako aj v krízových situáciách. Výskum bude zameraný na riešenie dátového prenosu (živý videostím), ktorý ukazuje reálnu situáciu a poskytuje veľké množstvo údajov, ktoré výrazne pomáhajú pri vyhodnocovaní reálneho stavu v postihnutých miestach. Okrem problémov, ktoré je potrebné

riešiť v súvislosti s návrhom odolnej viacpreskokovej siete je ďalším aktuálnym problémom doručovanie veľkého množstva údajov do CDN. V súvislosti s tým sa bude v projekte riešiť rozhranie (brána) medzi senzоровou a odolnou viacpreskokovou sieťou a rozhranie medzi viacpreskokovou sieťou a CDN. Predpokladá sa, že súčasťou rozhrania bude aj výpočtový systém umiestnený v pozemskom riadiacom centre, kde sa bude vytvárať viacpohľadový videostm, ktorý bude integrovať a komprimovať veľké toky údajov z jednotlivých uzlov senzorevej siete. Na vyriešenie tohto originálneho inovatívneho cieľa bude potrebné vyriešenie troch základných problémov:

- Výskum senzorumými sieťami, ktoré budú tvorené autonómnymi lietajúcimi uzlami a záložnou pozemskou riadiacou stanicou.
- Výskum protokolov pre bránu medzi lietajúcou senzorumou sieťou a odolnou viacpreskokovou sieťou.
- Výskum algoritmov pre spracovanie viacpohľadového videa v HD kvalite pre účely CDN s využitím metód spracovania veľkých dát.

#### IV. ZÁVER

Prudkým rozvojom IKT technológií sa v súčasnosti do popredia dostáva otázka vytvárania nových typov služieb a aplikácií, ktoré sú nezávislé na existencii sietí s infraštruktúrou. Existujúce mobilné siete využívajú jednoskokovú komunikáciu medzi mobilnými terminálmi, čo je do značnej miery limitujúcim prvkom v prípade výskytu krízových situácií, živelných nešťastí a katastrof. V týchto prípadoch je infraštruktúra v danej oblasti zničená a neumožňuje poskytovanie daných služieb a odolnej komunikácie.

V rámci projektu REMONET sme sa zamerali na inovatívne využitie viacpreskokových sietí, ktoré budú využívať MESH, MANET, DTN a DRONET. Tento model predstavuje dynamicky sa rozvíjajúcu oblasť mobilných komunikácií využívajúcu bezdrôtovú komunikáciu na prenos dát medzi mobilnými terminálmi bez potreby sietí s infraštruktúrou.

#### POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore Agentúry na podporu výskumu a vývoja v rámci projektu č. APVV-17-0208 - Odolné mobilné siete na doručovanie obsahu a vedeckých grantových agentúr v rámci projektov VEGA 1/0492/18 - Odolná dátová komunikácia pre krízové situácie využívajúca viacpreskokové mobilné siete a KEGA 046TUKE-4/2018 - Implementácia významných výsledkov výskumu v oblasti mobilných komunikačných technológií do výučby.

#### REFERENCES

- [1] E. Theodoridis, G. Mylonas, I. Chatziannakis, "Developing an IoT Smart City framework", "International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications, 2013.
- [2] D. Bonino, a kol. "ALMANAC: Internet of things for smart cities", International Conference on Future Internet of Things and Cloud, p. 309–316, IEEE, 2015.
- [3] K. Khaitiyakun, T. Sanguankotchakorn, A. Tunpan, "Data dissemination on MANET using content delivery network (CDN) technique", The International Conference on Information Networking 2014 (ICOIN2014), Phuket, 2014, pp. 502-506.
- [4] J. Rak, "Resilient Routing in Communication Networks", ISBN 978-3-319-22333-9, Springer, 2015.
- [5] J. Papaj, L. Doboš, A. Čížmár, "Hybrid MANET-DTN and a New Algorithm for Relay Nodes Selection", Wireless Personal Communications, Vol.96, No. 4, pp. 5145-5166, 2017.
- [6] J. Papaj, L. Doboš, "Cooperation between Trust and Routing Mechanisms for Relay Node Selection in Hybrid MANET-DTN", Mobile Information Systems. Vol. 2016, pp. 1-18, 2016.
- [7] 8-H. Guo a kol. "A location aided controlled spraying routing algorithm for Delay Tolerant Networks", Ad Hoc Networks, 66, pp. 16-25, 2017.
- [8] 11-L. Chen, W. Wang, "Multi-diversity combining and selection for relay-assisted mixed RF/FSO system", Optics Communications, 405, pp. 1-7, 2017.
- [9] S. Thounhom, T. Anusas-Amornkul, "The study of routing protocols for UAVs using Paparazzi mobility model with different altitudes", ACM International Conference Proceeding Series, 2017.
- [10] A. Čížmár, J. Papaj, L. Doboš, "Security and QoS integration model for MANETs", Computing and Informatics, Vol.31, No.5, pp. 1025-1044, 2012.

# Automatizácia spracovania dát zo siete AMONnet

<sup>1</sup>Matúš Michal MAŠLANKA, <sup>2</sup>Pavol BOBÍK, <sup>3</sup>Ján GENČI

<sup>1</sup>Katedra počítačov a informatiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická  
Univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>2</sup>Ústav experimentálnej fyziky, Slovenská akadémia vied, Slovenská republika

<sup>3</sup>Katedra počítačov a informatiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická  
Univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>matus.michal.maslanka@student.tuke.sk, <sup>2</sup>bobik@saske.sk, <sup>3</sup>jan.genci@tuke.sk

**Abstrakt** – Medzinárodná kolaborácia JEM-EUSO sa v rámci príprav na meranie častíc s ultra vysokou energiou zaoberá aj vývojom fyzikálneho modelu, ktorý popisuje procesy zmien intenzity UV žiarenia Zemskej atmosféry a ostatných zdrojov žiarenia, ktoré spolu vytvárajú UV pozadie Zemskej atmosféry. Pre získanie potrebných dát na vytvorenie tohto modelu bola inštalovaná globálna pozemná sieť UV detektorov. Pre túto sieť detektorov bol vyvinutý vizualizačný nástroj AMONviewer. Článok je venovaný nástroju AMONviewer a jeho doplnkovým funkciám určených na detailnú analýzu meraní počas jednej noci. Cieľom tejto analýzy je detegovať vplyvy, ktoré rušia presné meranie globálnej siete UV detektorov AMON.

**Keywords** – JEM-EUSO, AMONnet, AMONviewer, airglow, meranie UV pozadia Zemskej atmosféry

## I. ÚVOD

Medzinárodný experiment JEM-EUSO sa zaoberá skúmaním častíc s energiou presahujúcou  $5 * 10^{19} \text{eV}$  [1]. Tieto častice s extrémne vysokými energiami sú označované skratkou UHECR (Ultra-High-Energy Cosmic Ray). Pri interakcii týchto častíc s atmosférou Zeme sa tvorí sprška sekundárnych častíc sprevádzaná aj tvorbou svetelného signálu. Ten je potrebné odlišiť od ďalších svetelných zdrojov v nočnej atmosfére. Najvýraznejším z nich je airglow žarenie s maximom produkcie vo výške približne 90 až 10 km [2]. Pod JEM-EUSO experiment patrí viacero menších projektov, medzi ktoré patrí aj projekt vytvorenia modelu UV pozadia Zemskej atmosféry. Pre získavanie dát sa plánuje vytvoriť globálna sieť UV detektorov s názvom AMON (Airglow MONitor).

Primárnym svetelným zdrojom na Zemi je Slnko. Intenzita Slnčného žiarenia je oveľa vyššia ako intenzita UV žiarenia tvoreného sprškami častíc kozmického žiarenia. Preto je potrebné vykonávať merania UHECR častíc v noci, keď je Slnko minimálne  $18^\circ$  [3] pod obzorom. Avšak aj v noci sa vyskytujú rôzne zdroje svetla, ktoré ovplyvňujú presnosť meraní. Okrem už spomenutého airglow žiarenia medzi tieto rušivé vplyvy patrí napríklad Mesiac alebo prechod Mliečnej cesty zorným poľom detektora. Ďalším rušivým vplyvom je oblačnosť, ktorá znemožňuje merania intenzity airglow žiarenia.

## II. GLOBÁLNA SIEŤ UV DETEKTOROV AMON A VIZUALIZAČNÝ NÁSTROJ AMONVIEWER

V čase písania tohto článku globálna sieť UV detektorov AMON pozostáva zo štyroch detektorov.

### **Astronomické observatórium na Kolonickom sedle**

Tento detektor bol od februára 2017 umiestnený na Lomnickom štíte. V lete v roku 2018 bol premiestnený do areálu Astronomického observatória na Kolonickom sedle, kde sa nachádza dodnes.

### **San Pedro Mártir v Mexiku**

Druhý detektor sa od septembra 2017 nachádza v areáli Národného astronomického observatória San Pedro Mártir v Mexiku.

### **Roque de los Muchachos**

Ďalší detektor je umiestnený v Observatóriu Roque de los Muchachos na ostrove La Palma na Kanárskych ostrovoch od septembra 2017.

## Nemecko

Posledným AMON detektorom je detektor, ktorý bol umiestnený v Štokholme a neskôr v Nemecku. Tento detektor momentálne nie je v prevádzke.

Vizualizačný nástroj AMONviewer bol vytvorený ako webová aplikácia. Obsahuje dva pohľady, ktoré zobrazujú namerané dáta podľa požiadaviek používateľa.

### Compare view

Prvým pohľadom je pohľad Compare view. Tento porovnávací pohľad zobrazí údaje daného detektora pre časový interval zadaný užívateľom. Každá noc z tohto časového intervalu tvorí vlastnú sériu (čiaru) údajov. Pre jednoduchosť porovnania informácií sú všetky série údajov farebne odlíšené a zobrazené v jednom grafe, ako to znázorňuje obrázok 1.

Graf zobrazuje iba údaje z astronomickej noci. Za astronomickú noc sa považuje čas, keď zenitový uhol Slnka je viac ako  $108^\circ$ . Zároveň je pre zobrazovanie zavedené ďalšie kritérium, podľa ktorého musí byť Mesačný zenitový uhol viac ako  $90^\circ$ .

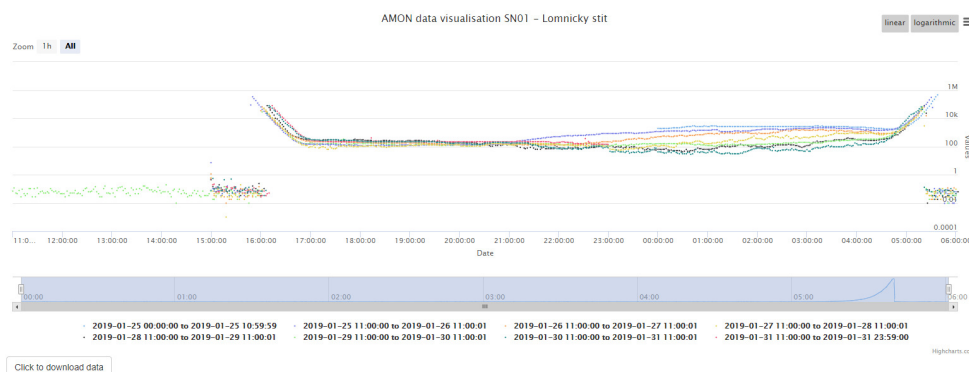


Fig. 1 Graf z Compare view pohľadu ANOMnet vizualizera.

### Detail view

Detailný pohľad zobrazuje namerané dáta aj so zenitovým uhlom Mesiaca. Časti údajov, ktoré sú v čase astronomickej noci sú zobrazené tmavo modrou farbou. Svetlo modrou farbou je znázornený zenitový uhol Mesiaca. Červenú farbu majú údaje, ktoré boli namerané mimo astronomickej noci a teda pre nás majú minimálny význam. V tomto pohľade je možné vytvoriť až štyri grafy s rôznymi časovými intervalmi. Obrázok 2 znázorňuje detailný pohľad.

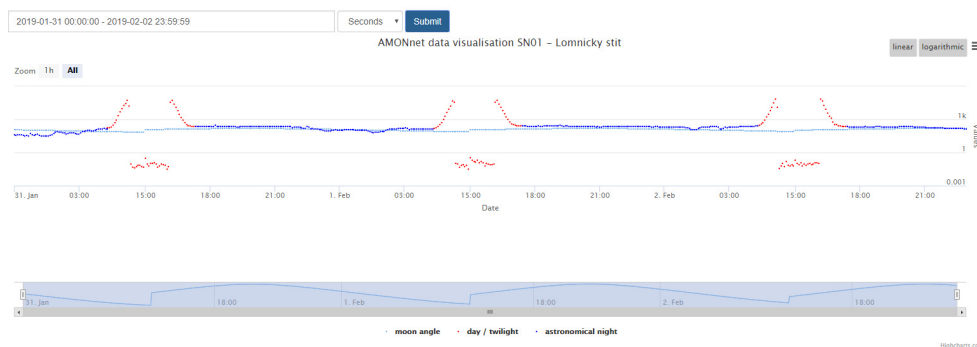


Fig. 2 Graf z Detail view pohľadu ANOMnet vizualizera.

## III. AUTOMATIZOVANÁ ANALÝZA DÁT

Signál UV pozadia sa zo štatistického hľadiska vyznačuje Poissonovým rozdelením. Signál hviezd a oblačnosti nemá Poissonovské rozdelenie, je preto možné časové úseky v ktorých sa nachádza signál hviezd a oblačnosti identifikovať tým, že v týchto úsekoch má celkový signál merania nepoissonovské rozdelenie. Úlohou tejto analýzy je automaticky detegovať rušivé vplyvy v nameraných dátoch. Pre detekciu hviezd, Mesiaca alebo iného svetelného zdroja zorným poľom

detektora bol implementovaný filter identifikujúci odchýlku od Poissonovského rozdelenia. Postup aplikácie filtra je nasledovný:

- 1) Rozdelenie úseku astronomickje noci na 10 minútové úseky. Presnejšie 600 sekundové úseky. Tento údaj je ďalej označovaný ako  $n$ .
- 2) Výpočet strednej hodnoty pre každý 10 minútový interval. Tento údaj je ďalej označovaný ako  $I_{avg}$
- 3) Výpočet parametra  $\lambda$  Poissonovskej distribúcie. Kde  $\lambda = \sqrt{I_{avg}}$ .
- 4) Výpočet štandardnej odchýlky  $\sigma$  pre 10 minútový interval. Kde  $\sigma = \frac{1}{n} \sum_1^n \sqrt{(I_n - I_{avg})^2}$ , pre  $n = 600$ .
- 5) Výpočet riadiacej konštanty. Táto konštantka bola testovaním stanovená na hodnotu  $k = 1,1 * \lambda$
- 6) Porovnanie hodnôt riadiacej konštanty  $k$  a hodnoty  $\sigma$ . Ak  $\sigma < k$  daná hodnota patrí do Poissonovského rozdelenia a jej hodnota nie je skreslená.

Tento graf zobrazuje namerané hodnoty z detektora v časovej postupnosti. Aplikovaním Poissonovho filtra sme v grafe červenou farbou odlíšili hodnoty, ktoré sú skreslené rôznymi vplyvmi, napríklad prechodom jasnej hviezdy v zornom poli detektora, prechodom mraku zorným pol'om detektora a iné. Obrázok 3 znázorňuje výsledný graf distribúcie signálu.

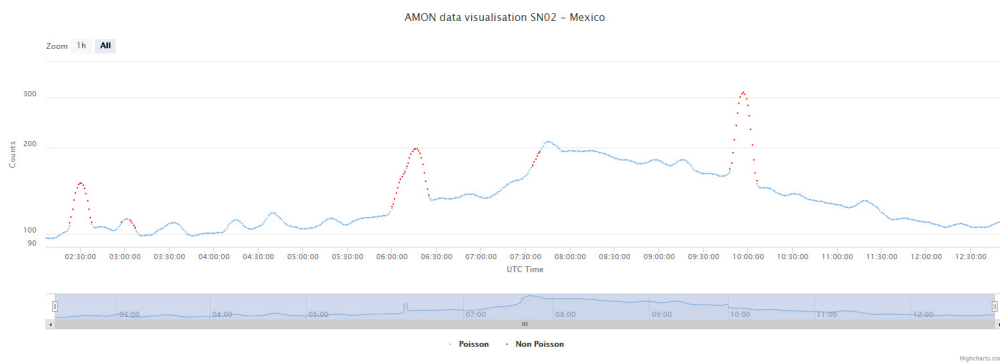


Fig. 3 Ukážka detekcie jasných hviezd Poissonovým filtrom. Noc z 8.12.2018.

### Histogram početnosti

Graf zobrazuje histogram početností nameraných hodnôt prepočítaných na percentuálny podiel. Do grafu je taktiež zobrazená krivka Poissonovského rozdelenia početností v percentách vypočítaná z priemernej hodnoty signálu počas vybranej noci. Poissonovské rozdelenie je pridané pre porovnanie s prípadom ak by signál UV pozadia nebol rušený. V ideálnych podmienkach by sa histogram mal zhodovať s krivkou Poissonovského rozdelenia. Ideálne podmienky by nastali v prípade, že signál analyzovanej noci by bol bez rušenia oblačnosťou, s minimálnym rušením hviezdovým svetlom, intenzita airglow žiarenia by sa počas noci nemenila a ani intenzita hviezdneho pozadia by sa nemenila (napríklad by cez zorné pole detektora neprešla Mliečna dráha). Obrázok 4 znázorňuje percentuálne zobrazenie histogramu početností a Poissonovú krivku taktiež v percentuálnom zobrazení.

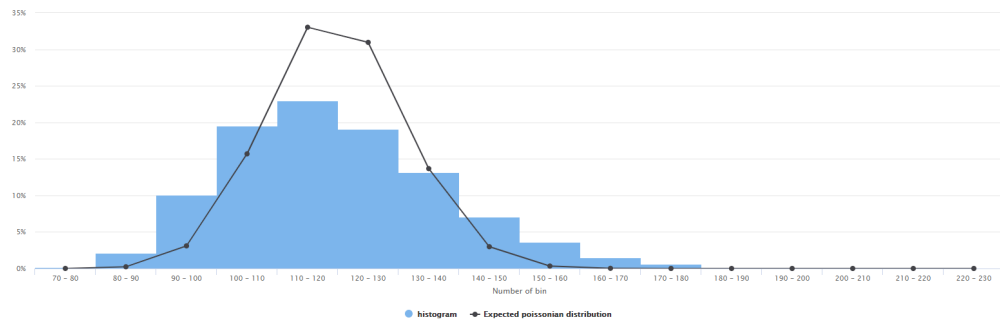


Fig. 4 Ukážka detekcie jasných hviezd Poissonovým filtrom. Noc z 10.4.2019.

Poissonovo rozdelenie je definované vzťahom

$$P(x) = \frac{\lambda^x * e^{-\lambda}}{x!},$$

kde

- $x$  vyjadruje nameranú hodnotu,
- $\lambda$  vyjadruje priemernú hodnotu nameraných hodnôt,
- $e$  predstavuje Eulerovo číslo.

Počas implementácie tohto vzťahu sa vyskytol problém pri výpočte faktoriálu z čísel väčších ako 150. Tento problém je spôsobený súčasným technickým obmedzením bežných 32/64 bitových operačných systémov. Problém bol vyriešený použitím Logaritmickej funkcie a použitím vzťahu

$$\log_{10} P(x) = \log_{10} \lambda^x + \log_{10} e^{-\lambda} - \log_{10} x!,$$

kde premenné zodpovedajú premenným uvedeným pri vyššie uvedenom vzťahu.

### Mapa hviezd

Mapa hviezd bola vytvorená na základe katalógu hviezd Tycho 2 [4]. Obrázok ??starmapfull zobrazuje mapu nočnej oblohy bez bližšej špecifikácie potrebnej oblasti, ktorú pokrýva zorné pole detektora. Na mape sú zobrazené pozície 2,5 milióna hviezd z Tycho 2 katalógu. Pri takomto pohľade je zreteľne viditeľná Mliečna cesta.

Pri požiadavke na zobrazenie hviezdnej mapy danej oblasti, sa na základe polohy detektora určenej zemepisnou šírkou a dĺžkou zobrazí iba zorné pole daného detektora za celý rok. Detektor je orientovaný pre pozorovania v zenite a jeho zorné pole je približne jeden stupeň. Pri zenitovom pozorovaní zorné pole detektora sleduje deklináciu na hviezdnej mape, ktorá je totožná so zemepisnou šírkou detektora. Keďže v priebehu roka sa zorné pole AMON detektora mení, tak zeleným pozadím je vyznačená časť, ktorá je viditeľná v priebehu konkrétnej noci. Časť oblohy videná zorným polom detektora počas jednej noci je určená zo siderického času tejto noci. Ten pomerne zodpovedá rektascenzii hviezdnej mapy. Obrázok 6 zobrazuje mapu hviezd pre detektor v Mexiku.

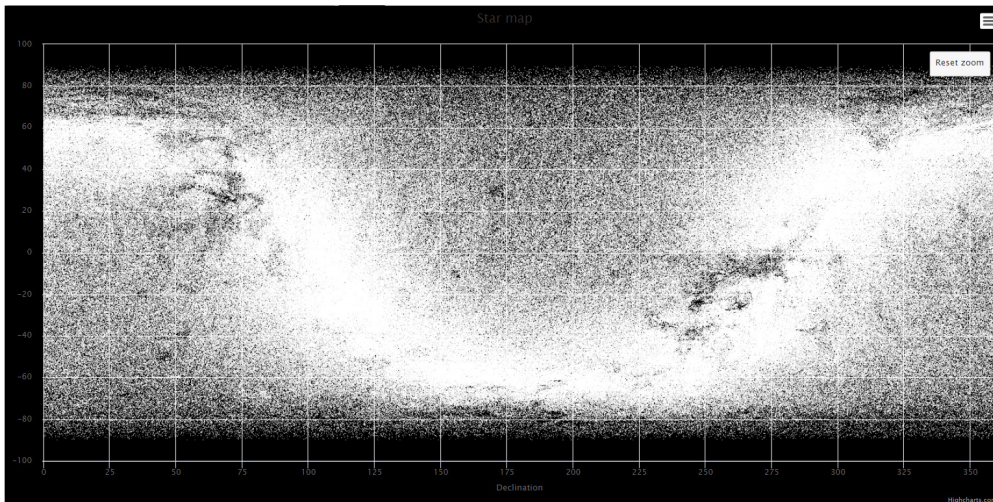


Fig. 5 Hviezdna mapa bez výberu oblasti.

### Histogram početností hviezd

Zorné pole detektora je jednostupňové a počas celého roka postupne sleduje celú hviezdnu mapu na rovnakej deklinácii (šírke) mapy, ktorá je totožná s geografickou šírkou polohy detektora, pozdĺž celého rozsahu rektascenzii (dĺžok) mapy. Zorné pole detektora vytvára jeden stupeň široký pás s rovnakou deklináciou naprieč hviezdnu mapou pozdĺž celého rozsahu rektascenzii. Pre každý stupeň z 360 stupňového rozsahu rektascenzie spočítame koľko je v ňom hviezd z katalógu Tycho 2. Výsledok je vizualizovaný stĺpcovým grafom znázorňujúcim počet hviezd v zornom poli detektora v závislosti od rektascenzie. Táto informácia slúži na určenie úseku noci keď zorným polom detektora prechádzala časť Mliečnej cesty. Mliečna cesta má pomerne vysokú svietivosť, ktorá skresľuje namerané hodnoty. Čas prechodu Mliečnej cesty zorným polom je však dostatočne dlhý na to, aby toto skreslenie nezachytil Poissonov filter. Na obrázku 7 je možné vidieť prierez takouto nočnou oblohou. Opäť je zeleným pozadím vyznačená časť konkrétnej noci.



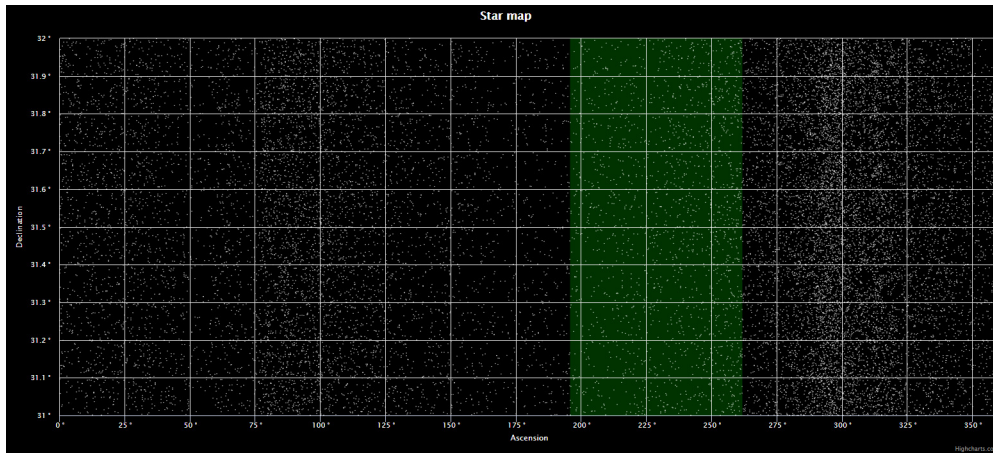


Fig. 6 Hviezdna mapa zorného poľa AMON detektora v Mexiku.

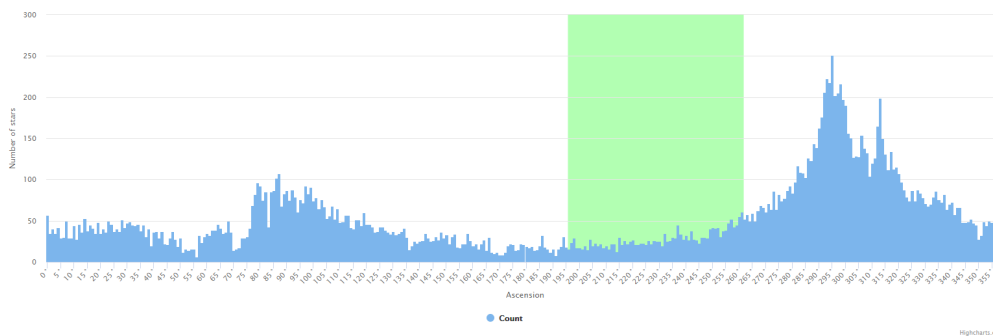


Fig. 7 Graf zobrazujúci celkový počet hviezd každého stupňa rektascenzie.

#### *Jas nočnej oblohy spôsobený hviezdным svetlom*

Táto časť je venovaná určaniu celkovej hviezdnej zložky jasnosti nočnej oblohy v zornom poli detektora. Na základe údajov z hviezdneho katalógu Tycho 2 bola vypočítaná celková jasnosť oblohy v zornom poli detektora pre každý stupeň rektascenzie (tj. v celom rozsahu 0 až 360 stupňov). Katalóg Tycho 2 obsahuje okrem presných súradníc hviezd aj údaje o hviezdnej magnitúde. Pozorovaná svietivosť (svetelný tok zistený meraním na Zemi alebo v jej okolí) hviezd v spektrálnom rozsahu magnitúdy je definovaná vzťahom:

$$F(x) = 10^{\left(\frac{m_x}{-2,5}\right)},$$

kde

- $F(x)$  predstavuje pozorovanú svietivosť hviezd,
- $m_x$  je magnitúda hviezd získaná z katalógu Tycho 2.

Následne je pre každý stupeň rektascenzie vypočítaný súčet jasnosti hviezd nachádzajúcich sa v tomto priestorovom stupni. Z týchto údajov je zostrojený stĺpcový graf, ktorý je možné vidieť na obrázku 8.

#### *Vizualizácia oblačnosti v miestach meraní detektorov*

Pre každý AMON detektor je zobrazená mapa s vyznačenou presnou polohou detektora. Následne je možné do mapy vložiť informácie o oblačnosti z daného časového intervalu zobrazenej astronomickej noci. Informácie o oblačnosti je možné prepínať v 30 minútových intervaloch. Obrázok 9 zobrazuje implementovanú mapu oblačnosti nad AMON detektorom v Mexiku.

#### IV. ZÁVER

Rozšírenie nástroja AMONviewer o analýzu jednotlivých nocí je potrebné ešte dôkladne analyzovať. V súčasnosti sú niektoré výsledky analýzy rozporuplné. Niektoré výsledky analýzy sa zhodujú s očakávanými výsledkami, iné výsledky sa však nezhodujú s očakávanými výsledkami. Preto je potrebné tento nástroj podrobiť dlhodobej a dôkladnej analýze, ktorá určí správnosť systému.



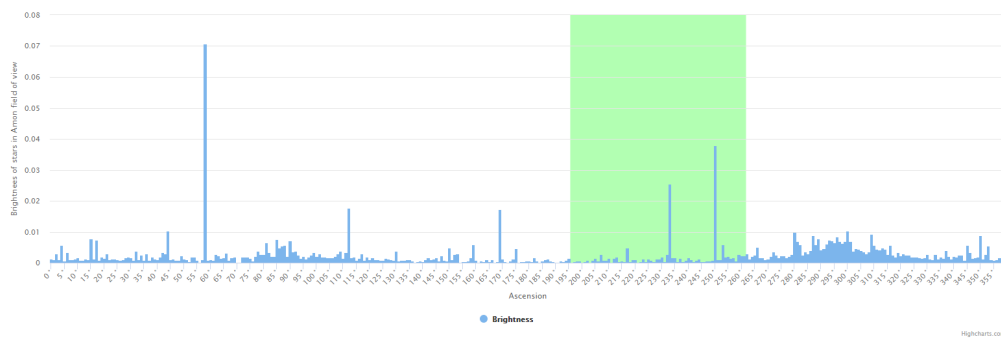


Fig. 8 Graf zobrazujúci celkovú jasnosť každého stupňa rektascenzie.

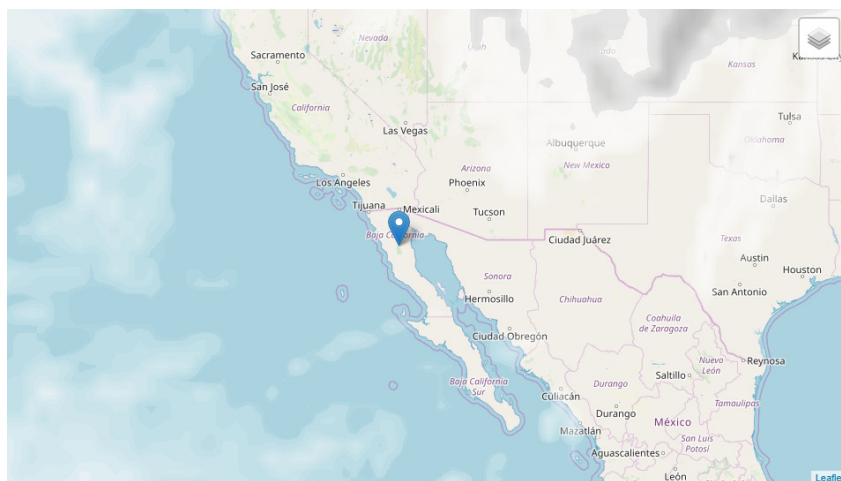


Fig. 9 Pozícia oblačnosti nad Mexikom 11.4.2019 o 8:00 UTC.

### LITERATŤA

- [1] J. H. Adams, "JEM-EUSO observational technique and exposure," *Experimental Astronomy*, vol. 40, pp. 281–299, 2014.
- [2] Britannica. (2018) Airglow. <https://www.britannica.com/science/airglow>.
- [3] JEM-EUSO. (2018) Webové stránky slovenskej kolaborácie. [http://www.jem-euso.sk/SK\\_ucast\\_v\\_JEM-EUSO.php](http://www.jem-euso.sk/SK_ucast_v_JEM-EUSO.php).
- [4] V. M. E. Høg, C. Fabricius, "The Tycho-2 Catalogue of the 2.5 million brightest stars." Oct. 2000.

# Inteligentné používateľské rozhrania s posilnením interakcie človeka a systému virtuálnej jaskyne

<sup>1</sup> Marián HUDÁK, <sup>2</sup> Branislav SOBOTA

<sup>1,2</sup> Katedra počítačov a informatiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup> marian.hudak.2@tuke.sk, <sup>2</sup> branislav.sobota@tuke.sk

**Abstrakt** — Článok sa zaoberá rozšírením systému virtuálnej jaskyne o komunikačné rozhranie s distribuovaním multiplicitných vstupov v reálnom čase. Teoretická časť opisuje systém virtuálnej jaskyne použitý pri realizácii a testovania rozhrania. Praktická časť opisuje implementáciu rozhraní a vykonávaných experimentov. Záver článku hodnotí súčasný stav a budúci potenciál systému virtuálnej jaskyne.

**Kľúčové slová** — komunikačné rozhranie, virtuálno-reálny systém, virtuálna realita

## I. ÚVOD

Virtuálno-reálne rozhrania reprezentujú rozsiahlu množinu zariadení, aplikácií a spôsobov pripojenia používateľa k cieľovému systému. Inteligentné rozhrania [1] rozširujú možnosti ovládania virtuálno-reálnych systémov a ich prostredí prostredníctvom rýchlo expandujúcich technológií, ktoré zvyšujú prirodzenú interakciu používateľa. Napriek dostupným vstupným zariadeniam existujú obmedzenia, ktoré výrazne vplyvajú na úroveň interakcie a pohltenia používateľa systémom. Hlavný problém reprezentuje používanie multiplicitných vstupov sprostredkovaných rozdielnymi typmi rozhraní. Tieto rozhrania spôsobujú kolízie v komunikácii medzi koncovým systémom a vstupnými perifériami. V tomto prípade klesá stabilita ovládania virtuálno-reálneho systému a narastá riziko nekorektnej spätnej väzby. Z tohto dôvodu je potrebné zdokonaľovať a navrhovať rozhrania s podporou kombinácie veľkého počtu vstupných zariadení v reálnom čase. V článku sa zameriavame na rozšírenie interakcie človeka a systému virtuálnej jaskyne prostredníctvom implementácie unifikovaných inteligentných rozhraní, ktoré sú spoločne kombinovateľné pre multiplicitné ovládanie trojrozmernej scény. Reprezentujú softvérové a hardvérové prvky s podporou gestikulačných vstupov rúk a nôh ako modulárne podsystémy cieľového virtuálno-reálneho systému.

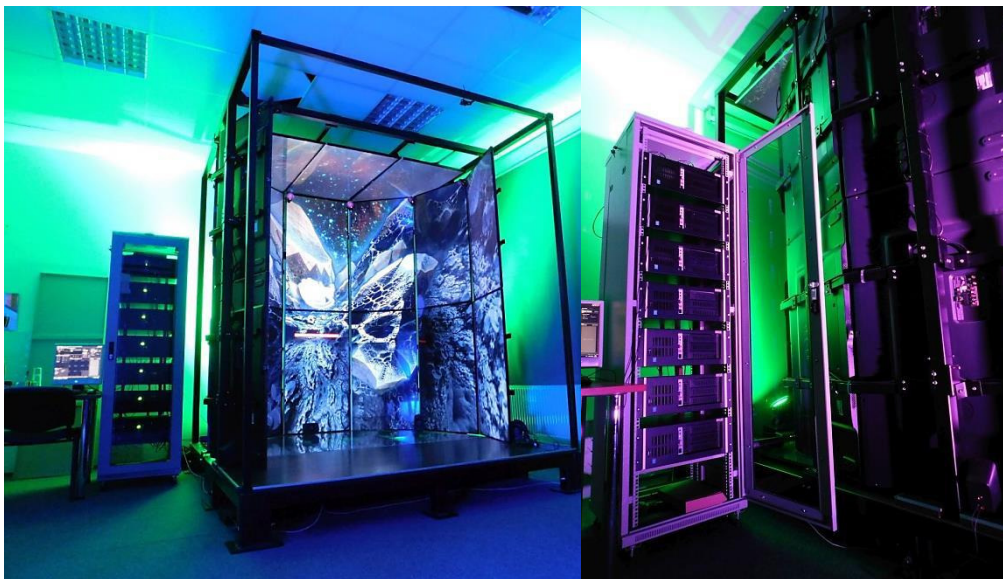
## II. SYSTÉM VIRTUÁLNEJ JASKYNE LIRKIS CAVE

Systém virtuálnej jaskyne LIRKIS CAVE [2] nachádzajúci sa v Laboratóriu Inteligentných Rozhraní Informačných a Komunikačných Systémov (LIRKIS) na Technickej Univerzite v Košiciach je aplikovaný pre výskum interakcie a pohltenia človeka virtuálnym prostredím. Architektúra systému pozostáva z jednotlivých softvérových a hardvérových komponentov, ktoré sú modulárne spájateľné. Z tohto dôvodu je možné rozširovať systémovú a konštrukčnú stránku, testovať vlastnosti a správanie systému v kombinácii s rôznymi typmi technológií. Táto vlastnosť vytvára kľúčovú podmienku pre vývoj rôznych prototypov rozhraní a aplikácií s možnosťou zlepšovania interakcie a spätnej väzby. Využitie modularity je výhodné pri nasadzovaní kombinácie rôznych podsystémov a testovaní ich vzájomnej kompatibility. Fyzický priestor LIRKIS CAVE pozostáva z konštrukcie v tvare hexagónu s rozmermi 2.5 m šírka, 2.5 m dĺžka a 3 m výška. Zobrazovacia časť pohlcuje používateľov prostredníctvom dvadsiatich LCD obrazoviek, rozmiestnených v panoramatickom usporiadaní, z ktorých je štrnásť umiestnených vertikálne v okolí používateľa, tri v strope a tri v podlahe systému.

Virtuálne prostredie je zobrazované v pasívnom stereoskopickom režime s vlastnosťou adaptívneho vykresľovania obrazu [3], závislého od smeru pohľadu používateľa a jeho polohy v systéme. Táto funkcionálna je sprostredkovaná vstupným rozhraním OptiTrack, operujúcim

prostredníctvom kamier so sledovaním retroreflexívnych bodov umiestnených na hlave používateľa. Skupina retroreflexívnych bodov reprezentuje celok (značku), ktorej tvar je špecifický a rýchlo detekovateľný systémom v reálnom čase. Sumárne je v systéme LIRKIS CAVE aplikovaných osem monitorovacích kamier OptiTrack a jedna značka.

Výkonný pomer systému dovoľuje riadenie výstupu obrazu v rozlíšení 40 x Full HD prostredníctvom počítačového klastra zloženého z riadiacej centrálnej jednotky a šiestich vykresľovacích uzlov. Centrálne výpočtová jednotka distribuuje globálne údaje pre každý vykresľovací uzol systému. Výstupný výkon je podávaný sumárne 112 gigabajtmi operačnej pamäte, 24 gigabajtmi operačnej pamäte grafického výkonu GPU Nvidia Quadro K5000 a procesormi CPU Intel i7 7700K. Komunikácia medzi systémovými komponentmi a uzlami je zabezpečená prostredníctvom lokálnej siete a inteligentným dátovým úložiskom. Systém je softvérový a hardvérový rozšíriteľný o modulárne komunikačné rozhrania, vstupné zariadenia a aplikácie podľa špecifických potrieb výskumu.



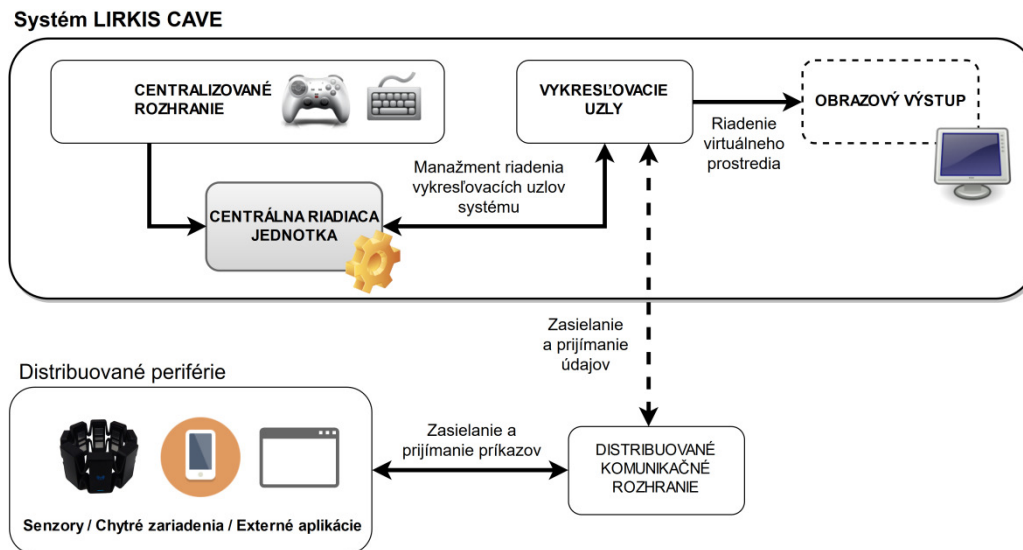
Obr. 1 Plne imerzívny virtuálno-reálny systém LIRKIS CAVE.

### III. ROZŠÍRENIA SYSTÉMU O INTELIGENTNÉ ROZHRAŇIA

#### A. Komunikačné rozhranie s transformovaním údajového toku

Pôvodná podpora systému LIRKIS CAVE disponovala centralizovanými vstupnými perifériami (štandardné vstupy, herné zariadenia). Napriek centralizovanej podpore v systéme LIRKIS CAVE absentovalo sieťové komunikačné rozhranie TCP/UDP pre sprostredkovanie a transformáciu údajov prijímaných z distribuovaných periférií. Absencia rozhrania spôsobovala problémy pri testovaní modulárnych aplikácií a zariadení pre ktoré boli vytvárané separátne komunikačné rozhrania nasadzované v priamo vo výpočtovom klastru. Týmto spôsobom narastala zložitosť systému a klesala úroveň stability pri spracovávaní distribuovaných údajov. Zámerom implementácie komunikačného rozhrania TCP/UDP bolo zjednotenie jednotlivých komunikačných modulov a rozhraní, ktoré poskytovali separátnu podporu pre externé periférie a aplikácie. Ďalším zámerom bolo cieľené odľahčenie centrálnej výpočtovej jednotky systému o spracovávanie a transformáciu vstupných údajov. Z tohto dôvodu sa návrh komunikačného rozhrania sa zaoberal možnosťami sprostredkovania dát z viacerých vstupných zariadení a ich prípadnú transformáciu podľa požadovanej štruktúry.

Implementácia distribuovaného komunikačného rozhrania [4] pre podporu externých periférií bola realizovaná prostredníctvom jazyka C a C#. Uvedené rozhranie umožňuje zasielanie a prijímanie paketov a datagramov, ktoré sú priamo distribuované jednotlivým vykresľovacím uzlom systému. Na rozdiel od podpory centralizovaných vstupných periférií je rozhranie schopné operovať oddelene od systému a prostredníctvom lokálnej siete distribuovať dáta. Distribúcia dát medzi rozhraním a vstupnými perifériami je riadená aplikáciou s podporou operačného systému MS Windows. Aplikácia získava údaje z rôznych typov distribuovaných periférií (senzory, chytré zariadenia, aplikácie, webové služby) reprezentované vstupnými príkazmi, ktoré následne upraví do požadovanej štruktúry pre cieľový systém. V závere sú dáta zasielané v rámci lokálnej siete systému pre každý z vykresľovacích uzlov v reálnom čase.



Obr. 2 Diagram architektúry systému LIRKIS CAVE s rozšírením o distribuované komunikačné rozhranie.

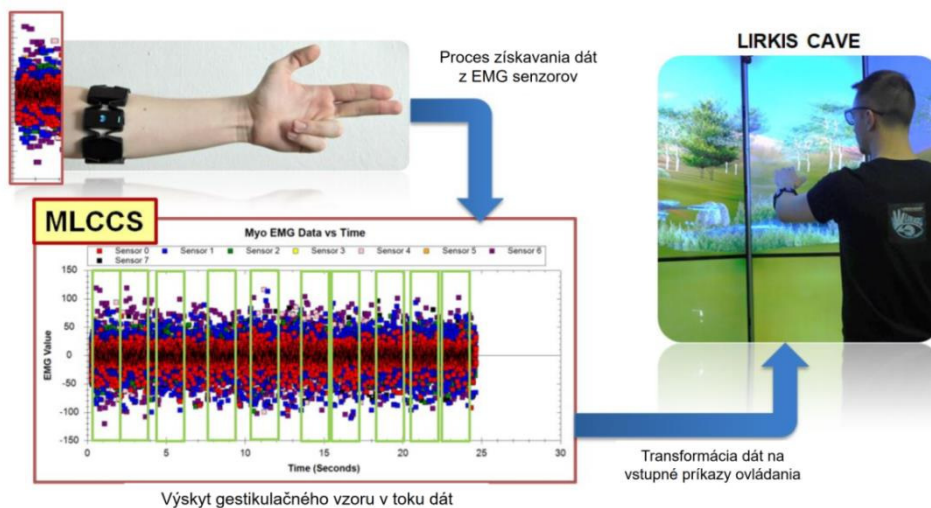
### A. Podpora gestikulačných vstupov rúk

Jedným z aktuálne inovatívnych zariadení pre ovládanie trojrozmernej scény prostredníctvom tenzie svalov používateľa je MYO náramok. Myo obsahuje elektromyografické senzory EMG a vysoko citlivú deväťosovú IMU jednotku s trojosovým gyroskopom, akcelerometrom a magnetometrickým snímačom. Technológia EMG umožňuje získavanie merateľných dát svalovej aktivity z oblastí ľudského tela. V zariadení Myo je osadených osem EMG senzorov poskytujúcich údaje o svalovej tenzii zo separátnych oblastí predlaktia ľudskej ruky. EMG senzory distribuujú dáta v oddelených kanáloch, ktoré sú použiteľné na komunikáciu medzi zariadením Myo a inými zariadeniami prostredníctvom bezdrôtového rozhrania Bluetooth. MYO náramok je použiteľný v prípade náhrady stimulačných senzorov alebo dátových rukavíc [5]. Pre efektívne získanie presnejších údajov zo senzorov EMG bolo potrebné implementovať rozhranie sprostredkujúce údaje z Myo náramku do systému LIRKIS CAVE. Z dôvodu rozšírenia systému o podporu gestikulačných vstupov rúk bol navrhnutý a realizovaný Myo LIRKIS CAVE Controller Software (MLCCS) [6] ovládací softvér, implementovaný v jazyku C#, ktorý poskytuje rozpoznávanie štandardných a kombinovaných gestikulačných vzorov používateľa. Ovládací softvér bol navrhnutý pre spracovávanie štandardných a rozšírených gest za účelom ovládania virtuálno-reálnych prostredí a objektov.

Primárna fáza vývoja MLCCS sa zamerala na implementáciu kalibračných profilov, podľa ktorých je možné adaptívne meniť senzitivitu snímania senzorov zariadenia MYO. Prostredníctvom kalibračných profilov môžu používatelia pristupovať k systému bez potrieb opakovania kalibrácie pred každým používaním. Sekundárna fáza sa zamerala na možnosti manipulácie s trojrozmernými objektmi prostredníctvom IMU jednotky. Vstupujúci problém predstavovali dáta podávané IMU jednotkou, ktoré bolo potrebné transformovať do prepočtov súradnicového systému LIRKIS CAVE. Z tohto dôvodu boli implementované transformačné funkcie pre reálno-časový prepočet uhlov používaní zariadenia. Výstupom transformačných funkcií je štruktúra dát obsahujúca údaje o rotácii zariadenia, posune v smere niektorej z osí pri pohybe používateľa, nameranej intenzity EMG a gestikulačných vzoroch. Gestikulačné vzory sú sprostredkované prostredníctvom detekcie tenzie svalového napätia s porovnávaním jednotlivých EMG hodnôt v reálnom čase.

Každý používateľ je schopný pracovať prostredníctvom 5 štandardných gest (stlačená päť, otvorená dlaň, naklonenie dlane do pravej strany, naklonenie dlane do ľavej strany, dotyk ukazováka s palcom), ktoré disponujú vysoko diametrálnymi hodnotami EMG. Týmto spôsobom sú gesta od seba špecificky rozpoznateľné v dátovom toku pri používaní. Terciárna fáza predstavovala implementáciu trojrozmerných scén v LIRKIS CAVE pre manipuláciu s trojrozmernými objektmi prostredníctvom ovládacieho softvéru MLCCS. Finálny výstup aplikácie umožňuje používateľom nasadenie zariadenie Myo pre prácu s virtuálno-reálnym pomocou ukladania údajov do dátovej štruktúry súboru alebo šírením prostredníctvom paketov v lokálnej sieti. Dáta poskytujú reálno-časové údaje získavané zo všetkých senzorov zariadenia.





Obr. 3 Spracovávanie údajov o gestách prostredníctvom ovládacieho softvéru MLCCS pri manipulácii s MYO náramkom.

### B. Podpora gestikulačných vstupov nôh

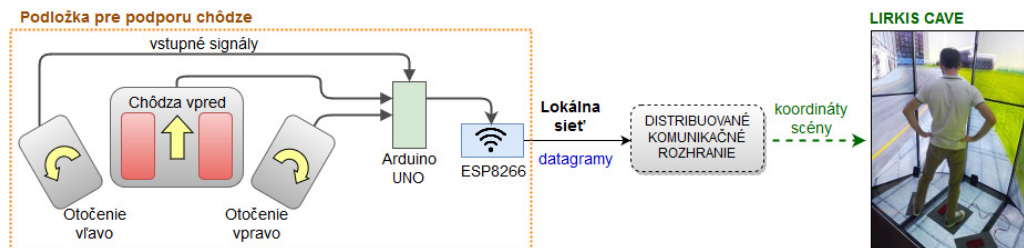
Jednou z požiadaviek rozšírenia podpory LIRKIS CAVE bola implementácia podložky pre snímanie gestikulácie nôh používateľa v systéme. Na zabezpečenie prirodzeného pohybu človeka bola navrhnutá kontaktná dotyková podložka pre rôzne pohybové aktivity a tréningy. Nakoľko LIRKIS CAVE [7] disponuje obmedzeným priestorom, navrhnutý spôsob pohybu sa obmedzil na možnosti kráčania na mieste pomocou vstupných gest chôdze.

Vstupy podávané používateľom boli navrhnuté v nasledujúcich režimoch snímania :

- *Režim prirodzenej chôdze* reprezentuje prirodzené kráčanie používateľa na mieste, prirodzeným striedaním krokov. Frekvencia kráčania vplyva na rýchlosť pohybu používateľa vo virtuálnom prostredí. Ak používateľ fyzicky nevykonáva chôdzu, pohyb vo virtuálnom prostredí je neaktívny. Státie na podložke bez kráčania je v uvedenom režime detegované ako neaktívny stav bez striedania signálov impulzov.
- *Režim jednoduchého dotyku* bol definovaný ako stav snímania podložky, v ktorom nie je potrebné striedanie krokov používateľa. V uvedenom prípade je vstup realizovaný jednorazovým stláčaním dotykových plôch pre vykonávanie pohybu. Státie na podložke vytvára priamy vstup podobným spôsobom ako zariadenie klávesnice, podobný prípadu používania kláves. V prípade stlačených kontaktov je detegovaný pohyb používateľa, opačne je pohyb neaktívny.

V štádiu implementácie bolo dôležité použiť vývojovú dosku Arduino UNO, s podporou vysokého počtu vstupných a výstupných pinov, prostredníctvom ktorých je možné získavať kombinácie signálov z podložky. Z dôvodu implementácie pohybu vo virtuálno-reálnom systéme bol navrhnutý koncept podložky pre aplikovanie v priestore LIRKIS CAVE.

Používateľ môže vykonávať pohyb vpred a späť, prípadne využívať smery otáčania vľavo a vpravo. Vstupné akcie sú fyzicky rozdelené na kontaktné moduly zložené z dlaždíc pre podporu chôdze a dlaždíc pre podporu otáčania. Každá z nich pozostáva z textilných kobercových plôch osadených kontaktnými hliníkovými povrchmi. Všetky vstupné signály sa generujú v prípade, ak používateľ vstúpi na modul a dotykové plochy sa navzájom dotýkajú. Rýchlosť pohybu používateľa je okrem rýchlosti krokovania riadená vstupným hardvérovým potenciometrom, ktorým je možné nastaviť veľkosť kroku posunu. V skutočnosti je možné rozšíriť vstupy pre rôzne pohyby a ich kombinácie s maximálnym počtom vstupov definovaným obmedzeniami Arduino. Návrh komunikácie podložky so systémom LIRKIS CAVE bol realizovaný WiFi modulom ESP8266 sprostredkujúci komunikáciu medzi Arduino UNO a LIRKIS CAVE prostredníctvom lokálnej siete a distribuovaného komunikačného rozhrania. Všetky vstupné signály z dotykového podložky prechádzajú do zariadenia Arduino Uno, odkiaľ smerujú WiFi modulom ESP8266 do lokálnej siete. Následne sú prijaté distribuovaným komunikačným rozhraním a spracované na príkazy ovládania virtuálnej scény.

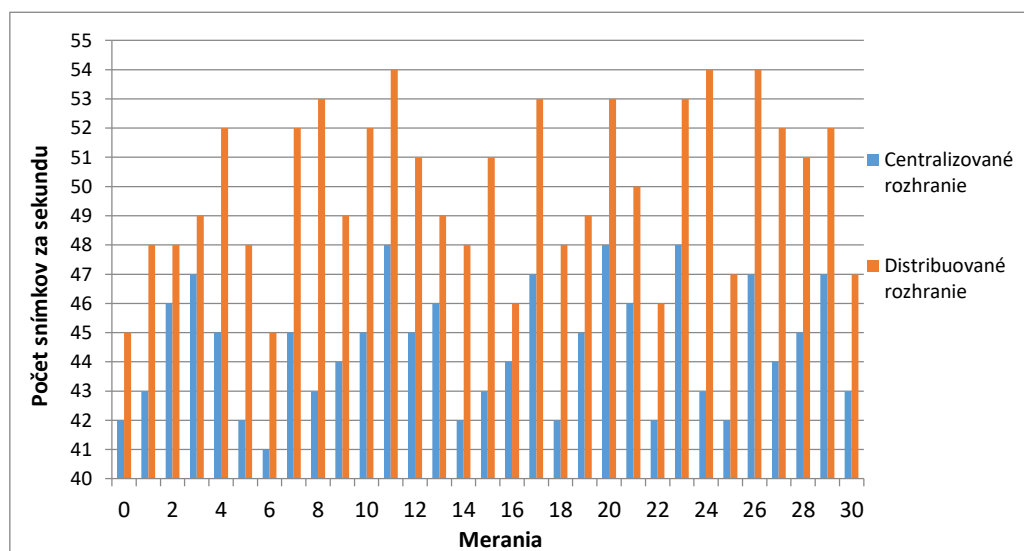


Obr. 4 Diagram komunikácie gestikulačnej podložky nôh s cieľovým virtuálno-reálnym systémom.

#### IV. EXPERIMENTÁLNE OVERENIE ROZHRAŇÍ

V konečnej etape finalizácie rozhraní boli vykonané testovacie prípady pre overenie spoľahlivosti multiplicitného ovládania virtuálno-reálneho systému v reálnom čase. Primárnym dôvodom realizácie experimentu bolo overenie vplyvu každého z rozhraní na cieľový výkon systému LIRKIS CAVE. Pre relevantné overenie bola v experimente nasadená trojrozmerná scéna obsahujúca 3D objekty ovládateľné vstupnými perifériami. Pri výbere merateľných ukazovateľov výkonnosti systému bola použitá jednotka obrazovej frekvencie (FPS – počet snímkov za sekundu) pri vykresľovaní trojrozmerného prostredia. Vykonávanie meraní prebiehalo pri používaní centralizovaného komunikačného rozhrania a následne pri nasadení distribuovaného komunikačného rozhrania. Ovládanie trojrozmernej scény využívalo v oboch prípadoch haptické ovládače (Joystick a Gamepad), ktorými používateľ interagoval s virtuálnymi objektmi. V priebehu experimentu bolo vykonaných 30 záznamov s meraním obrazovej frekvencie počas používania oboch rozhraní.

Výsledky experimentov preukázali rozdiely v používaní pôvodného a implementovaného distribuovaného rozhrania. Namerané hodnoty FPS pri testovaní centralizovaného rozhrania preukazovali vyššiu záťaž na cieľový systém, ktorá sa prejavila priemernými hodnotami 43 FPS. Test vykonaný pri používaní distribuovaného komunikačného rozhrania eliminoval záťaž systému s priemernou hodnotou 51 FPS. Z experimentu je zrejmé, že centralizované rozhranie vplyva na výkon centrálnej riadiacej jednotky výpočtového klastra negatívne, ktorý distribuuje údaje o vstupe v kombinácii s ostatnými globálnymi údajmi. Používanie distribuovaného komunikačného rozhrania preukazuje zlepšenie výkonu systému pri spracovávaní multiplicitných vstupov v reálnom čase.



Obr. 5 Tabuľka záznamov meraní výkonu systému pri používaní centralizovaného a distribuovaného komunikačného rozhrania v systéme LIRKIS CAVE .

## V. RELEVANTNÉ PLÁNY BUDÚCEJ VÝSKUMNEJ ČINNOSTI

Rozšírenie LIRKIS CAVE o inteligentné komunikačné rozhrania zvýšilo úroveň kompatibility systému s rôznymi typmi periférnych vstupov a ovládačov. Z pohľadu relevantných plánov nasledujúcej výskumnej činnosti je možné predpokladať rozšírenie LIRKIS CAVE o webové vizualizačné jadro s podporou kolaboratívnej virtuálnej reality. Prostredníctvom kolaboratívnych virtuálnych prostredí je možné integrovať viacerých používateľov z rôznych geograficky vzdialených oblastí do jednotného zdieľaného virtuálneho prostredia. Používatelia sú schopní kooperovať pri riešení rôznych úloh pomocou rôznych virtuálno-reálnych systémov (desktohy, dátové prilby, headsety pre chytré zariadenia, imerzívne systémy).

Naším prioritným zámerom je sprostredkovanie prístupu LIRKIS CAVE ku globálnemu kolaboratívne virtuálnemu prostrediu prostredníctvom webových technológií. Týmto spôsobom predpokladáme posilnenie podpory systému pre budúce využitie v oblastiach výskumu, medicíny a virtuálnych tréningov, ktoré si vyžadujú prítomnosť viacerých používateľov v reálnom čase, bez potreby ich fyzickej dostupnosti. Z tohto dôvodu vnímame virtuálnu kolaboráciu ako vhodný prostriedok pre integráciu nie len jednoduchých virtuálno-reálnych zariadení, ale rovnako aj komplexných systémov v podobe LIRKIS CAVE. V súčasnosti vyvíjame multiplatformový systém poskytujúci globálne kolaboratívne prostredia (LIRKIS G-CVE Global Collaborative Virtual Environment) [8], ktorého kompatibilita bude v nasledujúcim období výskumu rozšírená pre podporu systémov virtuálnych jaskýň a široké spektrum virtuálno-reálnych zariadení.

## VI. ZÁVER

Prirodzené používateľské rozhrania poskytujú vysokú úroveň interaktivity a zjednodušujú prístup k riadeniu virtuálno-reálnych prostredí. Prostredníctvom dostupných technológií poskytujú široké pokrytie vstupov, viazané na prirodzené zmysly človeka. Napriek technologickému pokroku je nevyhnutné vyvíjanie rozhraní, ktoré zjednodušujú ovládanie intuitívnym spôsobom a napomáhajú zdokonaľovať interakciu bez vysokej záťaže na výpočtový výkon systému. Dôležitým faktorom pri zdokonaľovaní a posilňovaní interakcie človeka s virtuálno-reálnym systémom je eliminácia obmedzení, ktoré negatívne ovplyvňujú proces ovládania. Súčasný stav systému LIRKIS CAVE umožňuje používateľom interagovať s virtuálnym prostredím prostredníctvom prirodzenej väzby menej limitujúcim spôsobom. Napriek implementovaným rozšíreniam je nevyhnutné naďalej zdokonaľovať spôsoby riadenia systémov. Dosahovanie primeraných interakcií môže zvýšiť úroveň efektivity a komunikácie.

## VII. POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol s podporou grantovej agentúry na podporu výskumu a vývoja v rámci projektu APVV-16-0202.

## REFERENCIE

- [1] Sobota, B., Korečko, Š., Jacho, L., Pastornický, P., Hudák, M., Sivý, M. (2017, October). Virtual-reality technologies and smart environments in the process of disabled people education. In *Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA), 2017 15th International Conference on* (pp. 1-6). IEEE.
- [2] Hudák, M., Korečko, X., & Sobota, B. (2017). Peripheral devices support for LIRKIS CAVE. *2017 IEEE 14th International Scientific Conference on Informatics*, 117-121.
- [3] Hudák M., Korečko Š. and Sobota B., "On architecture and performance of LIRKIS CAVE system," *2017 8th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*, Debrecen, 2017, pp. 295-300.
- [4] Patronický P., Hudák M., - 2018. "Enhancing interaction of CAVE systems with regards to disabilities".In: *Poster 2018*. - Prague : Czech Technical University, 2018 P. 1-5. - ISBN 978-80-01-06428-3B. Smith, "An approach to graphs of linear forms (Unpublished work style)," unpublished.
- [5] Hudák, M., Sobota, B., & Korečko, Š. (2018, November). Gesture Control for Cognitive Training Based on VR Technologies. In *2018 16th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA)* (pp. 209-214). IEEE.
- [6] Hudák, M., Korečko, Š. & Sobota, B. (2018). "Special Input Devices Integration to LIRKIS CAVE". *Open Computer Science*, 8(1), pp. 1-9. Retrieved 13 Jan. 2019, from doi:10.1515/comp-2018-000
- [7] Sobota, B., Korečko, Š., Jacho, L., Pastornický, P., Hudák, M.,- 2017. "Interaction techniques in CAVE LIRKIS" In: *Electrical Engineering and Informatics 8 : proceedings of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice*. - Košice : FEI TU, 2017 S. 582-585. - ISBN 978-80-553-3192-8
- [8] Hudák, M., Sivý, M.(2019). "Web-based collaborative virtual environments to support cross-platform access " In: *Poster 2019 : proceedings of the international student scientific conference. České vysoké učení technické v Praze*, Praha, (pp.178-182).



# Smart meter data processing tool using energy disaggregation

<sup>1</sup>Lukáš UJHÁZY, <sup>2</sup>Aleš DEÁK, <sup>3</sup>František JAKAB

<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>lukas.ujhazy@student.tuke.sk, <sup>2</sup>ales.deak@tuke.sk, <sup>3</sup>frantisek.jakab@tuke.sk

**Abstract** — The aim of this thesis is to introduce disaggregation techniques used in the present and create a system that would be able to disaggregate the measured data and create energy profiles of individual appliances. The principles of disaggregation methods were explained in the analytical part and designed the algorithm based on this analysis. The algorithm suitable for processing measured data was designed and implemented in the practical part of thesis. Subsequently, the system was tested and the measured data processed and evaluated.

**Keywords** — energy disaggregation, energy profile of household, NIALM, NILM, smart meter

## Introduction

In today's world of modern technology, the use of electricity is an integral part of every person's life. The farther, the more household appliances are connected to the power supply. But it's not just household appliances that need electricity, but also smart home control systems, lighting and many other things. Increasing the number of appliances and automating many processes with intelligent systems also increases the electrical consumption of individual households. Based on these facts, there is a growing demand for systems that can record and evaluate electricity consumption, which also leads to savings.

There are currently many solutions that can provide an overview of the total energy consumption of a house. However, the disadvantage of these solutions is their cost and availability. When recording household consumption data for each single appliance, each single socket is monitored separately, resulting in a large number of household meters. Recently have been developed methods using energy disaggregation of consumed energy in the home. The advantage of this method is the need for only one smart meter for the entire home.

This article will focus on disaggregation techniques currently used and their implementation. The principle of the disaggregation algorithm will also be explained. The PyCharm development environment and the Python programming language will be used to implement the solution with all available data processing and visualization libraries.

## I. ENERGY DISAGGREGATION PROBLEM

The aim of energy disaggregation [1] is to find out the consumption rate of individual appliances in household. This consumption is determined by total consumption of household  $W_{sti}$  in time  $t_i$  where  $i = 1, \dots, n$ . This can be defined by equation.

$$W_{t_i} = \sum_{s \in S} W_{s_{t_i}} + n_{t_i}$$

Where,  $S$  is the set of known appliances and  $n_i$  is a noise which contains basic energy consumption and consumption of individual appliances in household. This problem can be defined as

$$\min (W_{m_{t_i}}) |W_{t_i} - \sum_{s \in S} W_{s_{t_i}}|$$

Changes in consumption rate of individual appliances can be determined as  $\Delta S_{t_i} = S_{t_i} + 1 - S_{t_i}$  where  $i = 1, \dots, n-1$ .

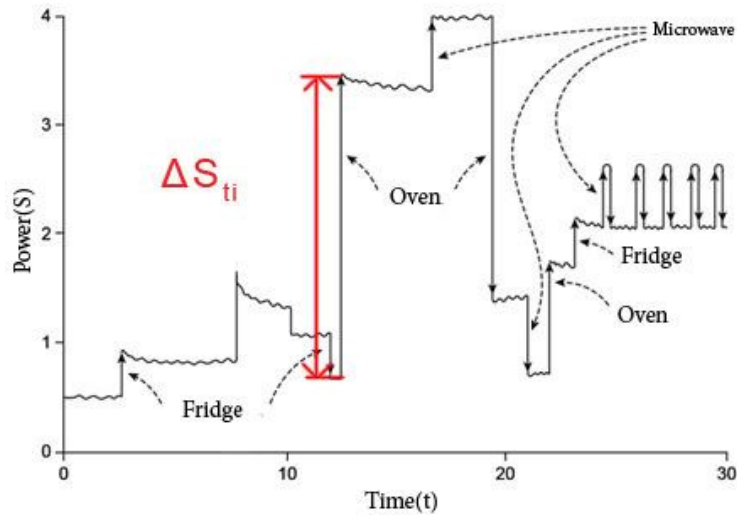


Fig. 1 Changes in consumption rate of individual appliances in household.

## II. DISAGGREGATION ALGORITHM

### A. Algorithm description

The disaggregation algorithm must be based on the problem described above. As the best solution which is not complex and effective at the same time, finding the signatures of appliances in total electricity consumption for the whole household is the solution. It is therefore a method based on events, therefore statistically significant changes in active performance, which could identify that one or more devices have changed their status. Detection of these changes is most often done by edge detection. These edges are fixed by some exact value or range. After identifying a change in status, relevant functions are extracted from each time window. These functions are then compared with the device signature database.

This method, unlike probabilistic and statistical methods [2], does not require information about the household, such as the number of appliances or their type. The proposed algorithm follows the steps outlined above, performing data filtering to adjust the thresholds [3] for edge detection and clustering. The main advantage of this algorithm doesn't need the assistance of neural networks and pre-disaggregation training to recognize household appliances, which will significantly affect the speed of implementation.

This algorithm can be divided into several parts:

1. Edge detection
2. Cluster analysis
3. Cluster pairing
4. Feature matching
5. Evaluation of results

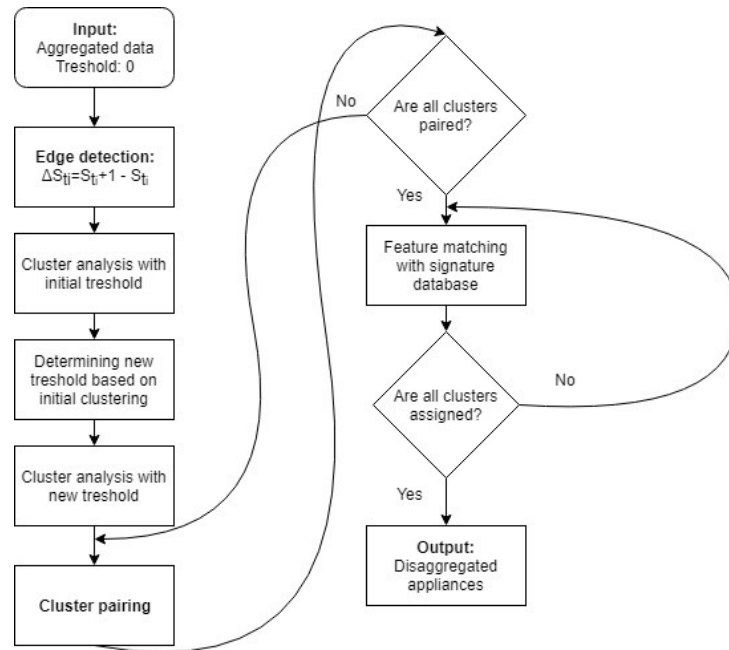


Fig. 2 Disaggregation algorithm.

### B. Edge detection and cluster pairing

The goal of this step is to detect edges and cluster individual changes. We consider the change is any statistically significant event in energy consumption that indicates that the appliance is on or off. The event may also be a change in the condition of the appliance. This may be, for example, changing the washing machine, dishwasher or even increasing / decreasing the illumination of smart lights. On Fig.3 are illustrated positive and negative edges of appliances.

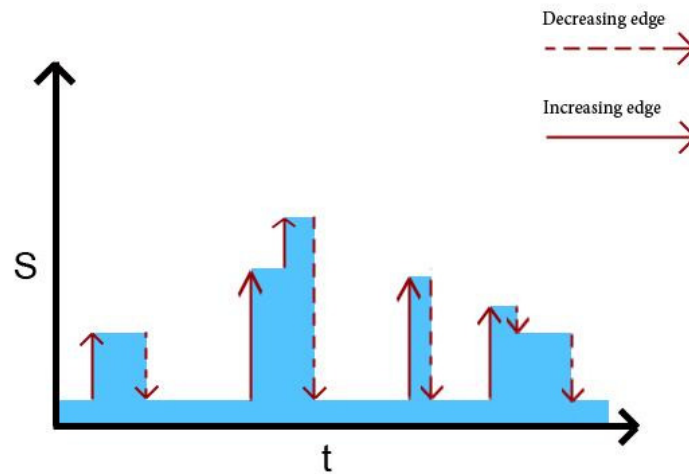


Fig. 3 Positive and negative edge representation.

In order to detect these changes, it is necessary to define a threshold based on which we can determine the large deviation in the performance of the device. This threshold must be large enough to filter out power variations, but also small enough to detect low loads. Range of initial threshold  $P_0$  is defined in the following interval.

$$\Delta S_i \in (-\infty, -P_0) \cup (P_0, \infty)$$

After initial pairing is defined new threshold  $P_n$ .

$$\Delta S_i \in (-\infty, -P_n) \cup (P_n, \infty)$$

Algorithm checks samples again until all samples are paired. This process continues until all candidate samples are paired and the set of all samples is blank.

### C. Feature matching

It starts with the largest paired cluster. So with a cluster that has the largest performance metrics. Let  $K_p$  and  $K_d$  denote the two clusters that are paired and thus define the vectors of growing and falling edges. The challenge is that every  $K_{p_i} \in K_p$  and  $K_{d_i} \in K_d$  find the optimal match between all the samples from the signature database.

In order to find a match, the algorithm must create a graph of the measured values and also graphs of the appliances from the signature database. However, only those graphs are generated where the rising edge precedes the decreasing.

Two graphs are created:

First graph  $G_p = (S_M, T_M)$  which contains paired clusters. His nodes are indexed as elements  $\delta_M$ .

$$T_{M_{i,j}} = \exp\left\{-\frac{\left|dist(\delta_{M_i}, \delta_{M_j})\right|}{\rho^2}\right\}$$

Second graph  $G_d = (S_T, T_T)$  which contains paired clusters. His nodes are indexed as elements  $\delta_T$ .

$$T_{T_{i,j}} = \exp\left\{-\frac{\left|dist(\delta_{T_i}, \delta_{T_j})\right|}{\rho^2}\right\}$$

Subsequently, paired clusters are compared with appliance signatures. Therefore algorithm starts finding matches in distance of graph nodes  $\left|dist(\delta_{M_i}, \delta_{M_j})\right|$  and  $\left|dist(\delta_{T_i}, \delta_{T_j})\right|$ .

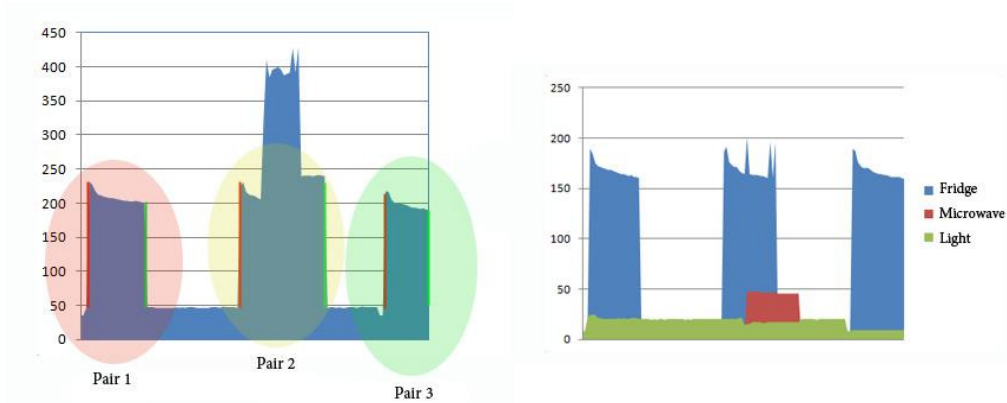


Fig. 4 Comparison of paired clusters and found appliance.

### D. Disaggregation output

As already described above, all paired positive and negative clusters correspond to some state of the appliance. These states are looking for a match in the existing appliance signature database available for that household. If the matched clusters do not match any of the samples in the database, we will also store them as an unknown appliance run. Later, we can assign names to this unknown appliances.

All appliances found are graphically shown in the graph. The program output includes aggregated data from the smart meter and disaggregated data that is also shown in the graph. Each appliance has a different color for better clarity.

## III. DISAGGREGATION RESULTS

This chapter will include disaggregation results and their comparison with real energy consumption. Also we will test parameters which have a major role in the correct evaluation of results.

The goal will be to test the functionality of the algorithm. One day's aggregated data will be used for testing. Before testing the disaggregation algorithm and evaluating the results, the values that affect the disaggregation result are defined:

- Cluster\_P is the average consumption for a positive cluster.
- Cluster\_N is the average consumption for a negative cluster. This value is opposite to the positive cluster value.
- turnlimit is the maximum number of changes per appliance.
- threshold is the maximum value for compliance with the signature database.

This dataset contains data of one day with six appliances. Testing was started at different T\_Positive and T\_Negative values.

| Cluster_P & Cluster_N | Number of appliances found | Number of matches found |
|-----------------------|----------------------------|-------------------------|
| 100                   | 8                          | 8                       |
| 150                   | 7                          | 7                       |
| 200                   | 6                          | 7                       |
| 250                   | 6                          | 6                       |
| 300                   | 5                          | 6                       |
| 500                   | 4                          | 5                       |

Based on testing with different values, the optimal value for both clusters is 250. All appliances were correctly evaluated with this value. Turnlimit was set to 3 and threshold value to 2000. Disaggregation results are displayed on Figure 5.

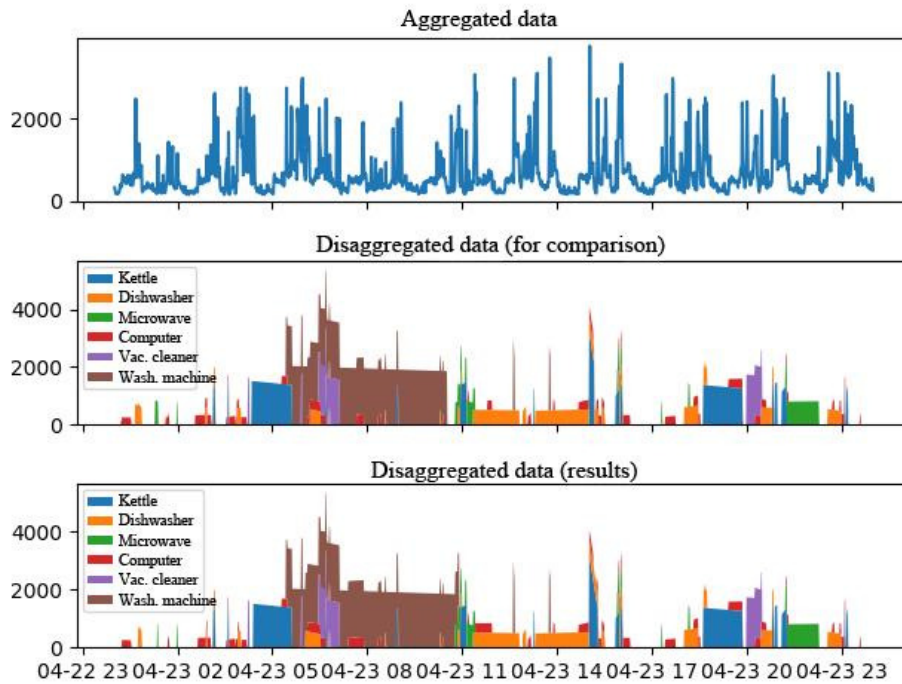


Fig. 5 Disaggregation results.

#### IV. CONCLUSION

Recorded data go through the disaggregation process where the profiles of the appliances that are compared with the signature database are created. After implementing this method, we tested the algorithms on both fictitious and real data. For fictitious data, accuracy was not very good with respect to power taken, but the percentage estimate for each appliance was at most 20%. For real data, the accuracy with respect to the power taken and the percentage estimate was at most 10%. It is obvious that the test results, where the signature database was created based on the measured data, will be good. However, the aim was to create a functional tool based on a theoretical proposal that can be improved and deployed in sight.

#### 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 Program funded by the ERDF. We support research activities in Slovakia/This project is being co-financed by the European Union.

#### REFERENCES

- [1] MARCEAU, Medgar L.; ZMEUREANU, R. Nonintrusive load disaggregation computer program to estimate the energy consumption of major end uses in residential buildings. *Energy conversion and management*, 2000, 41.13: 1389-1403.
- [2] KIM, Hyungsul, et al. Unsupervised disaggregation of low frequency power measurements. In: *Proceedings of the 2011 SIAM international conference on data mining*. Society for Industrial and Applied Mathematics, 2011. p. 747-758.
- [3] LIAO, Jing, et al. Non-intrusive appliance load monitoring using low-resolution smart meter data. In: *2014 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*. IEEE, 2014. p. 535-540.

# Porovnanie vplyvu napájania na charakteristiky univerzálneho motora

<sup>1</sup>Peter GIROVSKÝ, <sup>2</sup>Ján KAŇUCH, <sup>3</sup>Zoltán GOMBOS

<sup>1,2,3</sup> Katedra elektrotechniky a mechatroniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach

<sup>1</sup>peter.girovsky@tuke.sk, <sup>2</sup>jan.kanuch@tuke.sk, <sup>3</sup>zoltan.gombos@student.tuke.sk

**Abstrakt** — V tomto príspevku je prezentované porovnanie vplyvu jednosmerného a striedavého napájania na charakteristiky univerzálneho motora. Samotné univerzálne motory majú široké využitie v rôznych aplikáciách a môžu byť napájané tak so striedavým, ako aj jednosmerným napätím. Preto úlohou tohto príspevku je porovnať vplyv napájania na univerzálny motor a stanoviť záver, ktoré napájanie univerzálneho motora je vhodnejšie. V závere príspevku sú prezentované výsledky meraní na univerzálnom motore pri jednosmernom a striedavom napájaní.

**Kľúčové slová** — univerzálny motor, napájanie, analýza, meranie

## I. ÚVOD

Univerzálne motory patria k najviac používaným elektrickým strojom v domácych elektrosprebičoch a v dielenskom ručnom náradí vďaka ich výborným regulačným vlastnostiam. Mnohostranné využitie univerzálnych motorov je dané aj skutočnosťou, že tieto motory môžu byť napájané nielen striedavým, ale aj jednosmerným napätím.



Obr. 1. Obr. 1 Univerzálny motor

V oboch prípadoch je rýchlosť motora riadená veľkosťou napájacieho napätia. Univerzálny motor je známy aj pod názvami ako striedavý sériový motor alebo tiež ako striedavý komutátorový motor. Tento motor sa skladajú zo statora s dvoma koncentrovanými budiacimi vinutiami zapojenými do série, rotora s vinutím, komutátora a dvoch uhlíkov. Vinutia statora a rotora sú zapojené v sérii k zdroju elektrickej energie. Sériové spojenie vinutia statora a rotora je vytvorené trecími kontaktmi komutátora na rotore a dvoch uhlíkov.

Na rozdiel od jednosmerného motora s cudzím budením, univerzálny motor napájaný konštantným napätím nemá stabilnú rýchlosť. Pri konštantnom napätí (AC alebo DC) motor beží tak rýchlo, ako to dovoľí jeho zaťaženie a krútiaci moment motora klesá s rýchlosťou. Avšak univerzálne motory majú veľmi vysoký pomer krútiaceho momentu k hmotnosti zo všetkých typov elektromotorov.

Hlavné vlastnosti, ktoré sú typické pre univerzálne motory sú nasledovné:

- vysoká rýchlosť, vysoká účinnosť, relatívne nízka životnosť (neodporúča sa nepretržitá a aj dlhá doba prevádzky),
- medzi komutátorom a uhlíkmi je iskrenie, vytvára sa ozón a generuje EMI,
- prevádzka je buď na jednosmerné alebo jednofázové striedavé napätie, pričom prevádzkový výkon univerzálneho motora je 50 až 1000 W a jeho rýchlosť je 10000



- 20000 otáčok za minútu.

Univerzálny motor sa využíva prevažne v aplikáciách, ktoré vyžadujú veľký rozbehový moment a malú zmenu momentu za chodu, vysokú rýchlosť a krátky čas prevádzky s dlhšou prestávkou. Niektoré z typických aplikácií sú nasledovné:

- domáce a kancelárske využitie: práčka, mixér, odšťavovač, ventilátor, brúska, kuchynský robot, vysávač,
- ručné elektrické náradie, otváranie garážovej brány, vodné čerpadlo, kompresor, stolové obrábacie stroje,
- osobná starostlivosť (masážne strojčeky, sušič vlasov),
- kancelárske potreby: skartovač, strúhadlo a pod.

## II. MERANIE NA UNIVERZÁLNOU MOTORE

Keďže univerzálny motor je možné napájať striedavým aj jednosmerným napätím, úlohou tejto práce je zistiť, aký vplyv má na prevádzkové charakteristiky motora jeho napájanie. Výsledky merania na univerzálnom motore by mali dať odpoveď na otázku, aké napätie (jednosmerné alebo striedavé) je výhodnejšie použiť pre napájanie takéhoto motora. Na meranie bol použitý univerzálny motor z práčky Indesit s nasledujúcimi parametrami:

$$U_N=220-240V, I_N=3A, P_N=300W$$

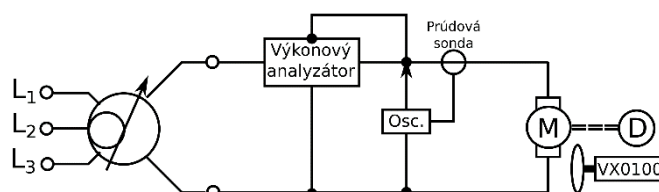
Na obr. 2 je zobrazené meracie pracovisko pre meranie na univerzálnom motore.



Obr. 2. Meracie pracovisko pre univerzálny motor

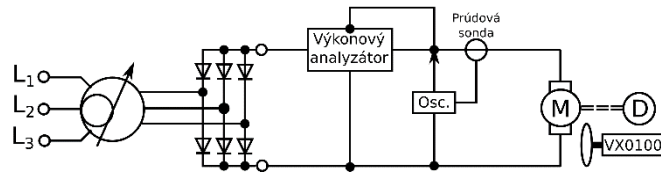
Univerzálny motor bol počas merania pripojený k dynamometru, pomocou ktorého bol motor zaťažovaný a zároveň slúžil na meranie momentu a otáčok motora. Napätie a prúd odoberaný zo zdroja ako aj harmonická analýza napätia odoberaného zo siete sa vyhodnocovala výkonovým analyzátorom elektrickej energie Fluke Norma 4000. Vyžarovaná intenzita elektromagnetického poľa sa merala prístrojom značky Matrix typ VX0100 s externou anténou 62mm.

Pri napájaní striedavým napätím bol univerzálny motor napájaný z autotransformátora. Schéma zapojenia pri napájaní striedavým napätím je zobrazená na obr. 3.



Obr. 3. Schéma zapojenia pri napájaní striedavým napätím

Pri napájaní jednosmerným napätím bol univerzálny motor napájaný z trojfázového autotransformátora pričom jeho výstupné napätie bolo usmernené trojfázovým neriadeným mostíkovým usmerňovačom. Schéma zapojenia pri napájaní jednosmerným napätím je zobrazená na obr. 4.



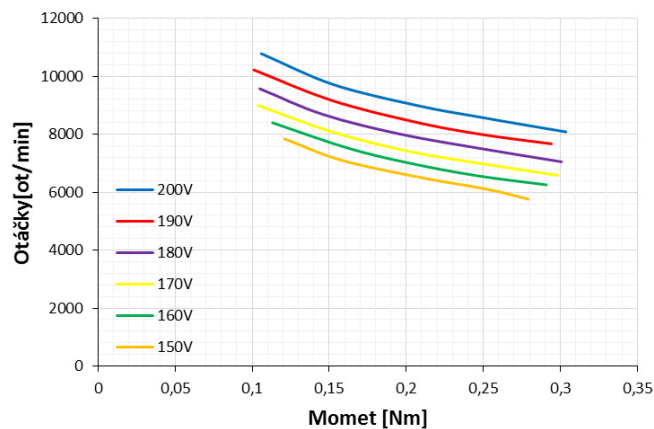
Obr. 4. Schéma zapojenia pri napájaní jednosmerným napätím

### III. DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY

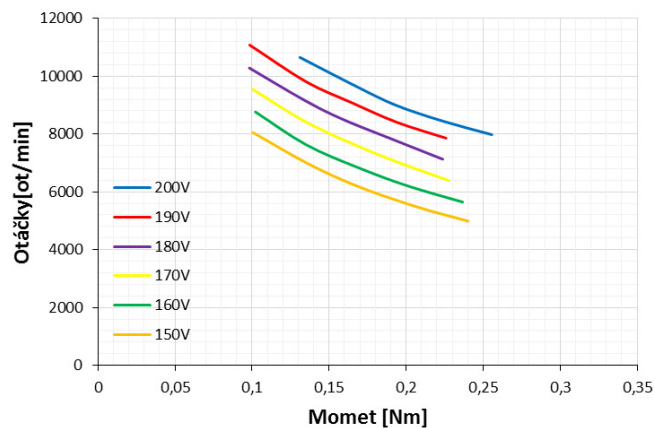
Pri jednotlivých typoch napájania sa sledovali hodnoty potrebné pre zostrojenie rýchlostnej a mechanickej charakteristiky, t. j. moment, prúd a otáčky motora pri rôznych napájacích napätiach. Ďalej sa sledovala účinnosť motora, elektromagnetické vyžarovanie a pri striedavom napájaní aj vyššie harmonické. Výsledky jednotlivých meraní sú zobrazené na nasledujúcich priebehoch.

#### A. Rýchlostné charakteristiky univerzálneho motora

Na obr. 5 a obr. 6 sú zobrazené rýchlostné charakteristiky univerzálneho motora pri jednosmernom a striedavom napájacom napätí.



Obr. 5. Priebeh rýchlostnej charakteristiky pre jednosmerné napájanie univerzálneho motora

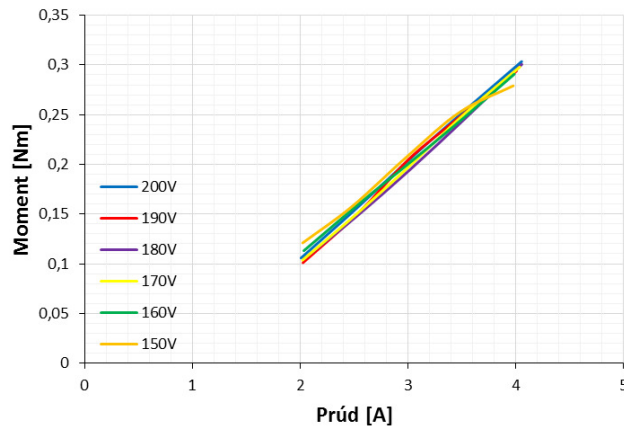


Obr. 6. Priebeh rýchlostnej charakteristiky pre striedavé napájanie univerzálneho motora

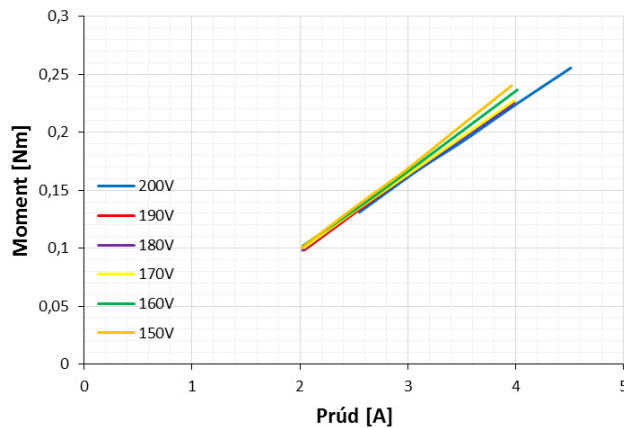
Ako vidno z jednotlivých priebehoch, univerzálny motor pri napájaní jednosmerným napätím má „tvrdšiu“ rýchlostnú charakteristiku ako keď je napájaný striedavým napätím.

#### B. Momentové charakteristiky univerzálneho motora

Na obr. 7 a obr. 8 sú zobrazené momentové charakteristiky univerzálneho motora pri jednosmernom a striedavom napájacom napätí.



Obr. 7. Priebehy momentovej charakteristiky pre jednosmerné napájanie univerzálneho motora

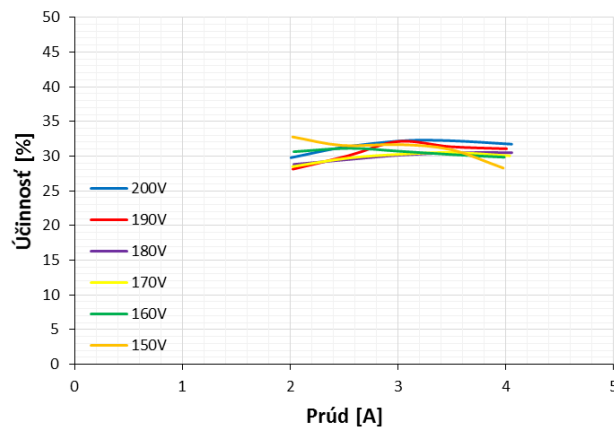


Obr. 8. Priebehy momentovej charakteristiky pre striedavé napájanie univerzálneho motora

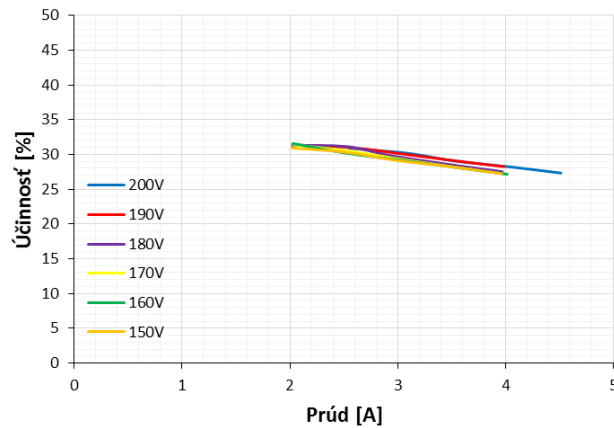
Ako vidno z jednotlivých priebehov, univerzálny motor pri napájaní jednosmerným napätím má lepšie momentové charakteristiky ako pri napájaní striedavým napätím.

### C. Charakteristiky účinnosti univerzálneho motora

Na obr. 9 a obr. 10 sú zobrazené priebehy účinnosti univerzálneho motora pri jednosmernom a striedavom napájacom napätí. Z uvedených priebehov možno vidieť, že účinnosť univerzálneho motora napájaného striedavým napätím pri zaťažení mierne klesá, pričom pri napájaní jednosmerným napätím sa drží približne na rovnakej hodnote.



Obr. 9. Priebehy účinnosti pre jednosmerné napájanie univerzálneho motora

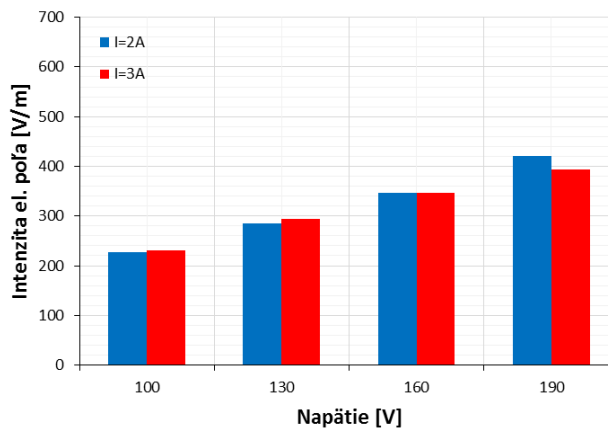


Obr. 10. Priebehy účinnosti pre striedavé napájanie univerzálneho motora

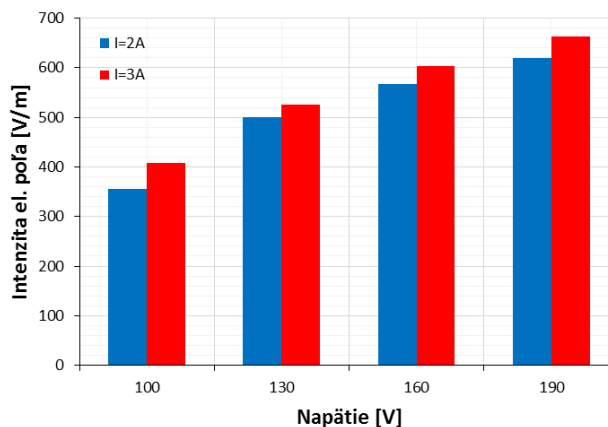
#### D. Elektromagnetické vyžarovanie a vyššie harmonické

Na obr. 11 a obr. 12 sú zobrazené intenzity elektromagnetického poľa v okolí univerzálneho motora pri jednosmernom a striedavom napájacom napätí, ktorý bol zaťažený prúdom 2A resp. 3A.

Intenzita elektromagnetického poľa bola odmeraná Matrix typ VX0100 s externou anténou 62mm, pričom prístroj bol umiestnený v tesnej blízkosti komutátora univerzálneho motora.



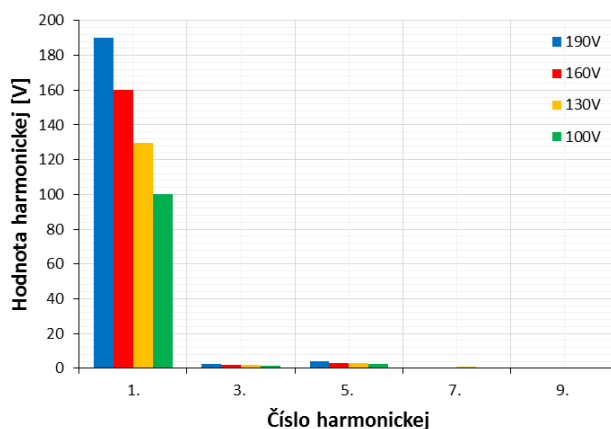
Obr. 11. Intenzity elektromagnetického poľa v okolí univerzálneho motora pri jednosmernom napájaní



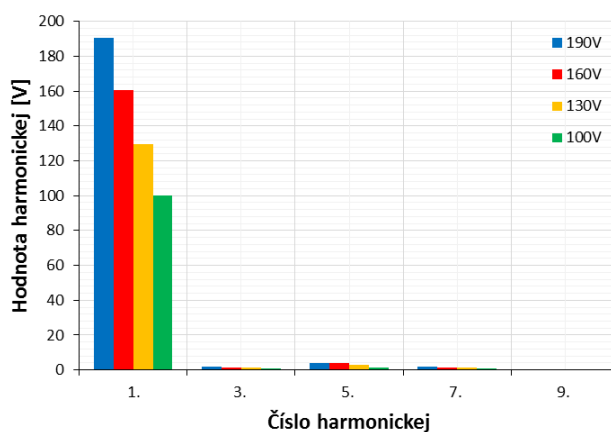
Obr. 12. Intenzity elektromagnetického poľa v okolí univerzálneho motora pri striedavom napájaní

Ako vidno z prezentovaných výsledkov intenzity elektromagnetického poľa, rušenie v okolí univerzálneho motora, ktorý bol napájaný jednosmerným napätím je nižšie, ako u univerzálneho motora napájaného striedavým napätím.

Na obr. 13 a obr. 14 sú zobrazené zložky vyšších harmonických pri striedavom napájaní pri prúde 3A a 2A odmerané pomocou výkonového analyzátora Fluke Norma 4000.



Obr. 13. Vyššie harmonické napätia pri striedavom napájaní univerzálneho motora pri prúde 3A



Obr. 14. Vyššie harmonické napätia pri striedavom napájaní univerzálneho motora pri prúde 2A

#### IV. ZÁVER

V tomto článku sme chceli prezentovať aký vplyv má typ napájacieho napätia (jednosmerné resp. striedavé) na vlastnosti univerzálneho motora a jeho vplyv na elektromagnetické rušenie do okolia. Meranie prebiehalo na univerzálnom motore, ktorý bol pôvodne použitý v pračke značky Indesit a počas merania pripojený k dynamometru, pomocou ktorého bol motor zaťažovaný a zároveň slúžil na meranie momentu a otáčok motora. Napätie a prúd odoberaný zo zdroja ako aj harmonická analýza napätia odoberaného zo siete sa vyhodnocovala výkonovým analyzátorom elektrickej energie Fluke Norma 4000. Vyžarovaná intenzita elektromagnetického poľa sa merala prístrojom značky Matrix typ VX0100. Do-siahnuté výsledky z jednotlivých meraní boli prezentované na obrázkoch 5 až 14. Z výsledkov merania vyplýva, že lepšie vlastnosti a zároveň nižšie elektromagnetické rušenie do okolia mal univerzálny motor pri jednosmernom napájaní.

#### POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-15-0750.

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-16-0206.

Táto práca vznikla s podporou grantu VEGA 1/0187/18.

#### LITERATÚRA

- [1] Kaňuch, J., Vinyi, P.: „DC drive for universal motor“, In: Maszyny elektryczne : Zeszyty problemowe. no. 84 (2009), p. 7-11, 2009.
- [2] Timko, J.; Žilková, J., Dudrik, J.; Girovský, P.: Elektrické akčné členy a pohony. Technická univerzita v Košiciach, 2009. ISBN 978-80-553-0168-6
- [3] Hrabovcová V., Rafajdus P., Franko M.: Measuring and modeling of the electrical machines; University of Žilina press, 2004, Slovakia.
- [4] Klug, L., Duč-Anci, M., Bachratý, B.: Contribution to the design of an ac. universal motor. XII. International Symposium on Electric Machinery in Prague, ISEM 2004.

# Analýza elektromagnetického poľa v okolí vn stožiarov

<sup>1</sup>Dominik GDOVIN, <sup>2</sup>Dušan MEDVEĎ

<sup>1,2</sup>Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>dominik.gdovin.2@student.tuke.sk, <sup>2</sup>dusan.medved@tuke.sk

**Abstrakt** — Tento článok sa venuje analýze elektromagnetického poľa v okolí vn stožiarov pred a po osadení zábran proti avifaune. V článku sú uvedené výsledky analýzy elektromagnetického poľa v okolí vn stožiara pred a po osadení vybranej zábrany, pričom v tomto príspevku je uvedená zábrana typu „Birdring“.

**Kľúčové slová** — elektromagnetické pole, Birdring zábrana, magnetická indukcia, intenzita elektrického poľa

## I. ÚVOD

V dnešnej dobe sú ľudia na prítomnosť elektrickej energie zvyknutí a život bez nej si už ťažko dokážu predstaviť. V dobe, kedy sa začali stavať prvé 22 kV vedenia, distribučné spoločnosti ani len netušili, že táto výstavba môže mať nepriaznivý vplyv na živé organizmy, napríklad na vtáctvo. V dôsledku elektrických vedení dochádza k častým kolíziám elektrického vedenia a vtáctva, pričom tieto kolízie často vedú až k úhynu vtáctva. Z tohto dôvodu sa v posledných rokoch pristúpilo k ochrane ohrozených druhov vtáctva. Princíp ochrany spočíva v inštalácii overených zábran proti vtáctvu na podperné body 22 kV vedenia. Tieto zábrany majú zamedziť prístup vtáctva do aktívnej zóny medzi fázovými vodičmi, respektíve majú zabrániť dotyku živých častí s telom vtáka. [1], [2]

### A. Výber kľúčových informácií pre analýzu

Podstatnou úlohou tohto príspevku je analyzovať, či vybrané zábrany proti vtáctvu nemajú nepriaznivý vplyv na rozloženie elektromagnetického poľa, čo by viedlo k zvýšeným stratám na vedení. Z tohto dôvodu boli porovnávané hodnoty magnetickej indukcie a intenzity elektrického poľa v okolí vn stožiara bez avi-zábrany a vn stožiara, na ktorom bola osadená vybraná zábrana proti vtáctvu. [3]

## II. ROZLOŽENIE ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA V OKOLÍ 22 KV STOŽIARA PRED A PO OSADENÍ ZÁBRANY PROTI VTÁKOM

Ešte pred samotnou analýzou bolo potrebné vybrať vhodný softvér, v ktorom sa analýza rozloženia EMP vykonávala. Vybraný softvér bol multifyzikálny program ANSYS Workbench. Tento multifyzikálny program nedokáže riešiť elektromagnetické pole ako celok, preto bola analýza rozdelená na dve časti, na analýzu magnetického poľa a analýzu elektrického poľa.

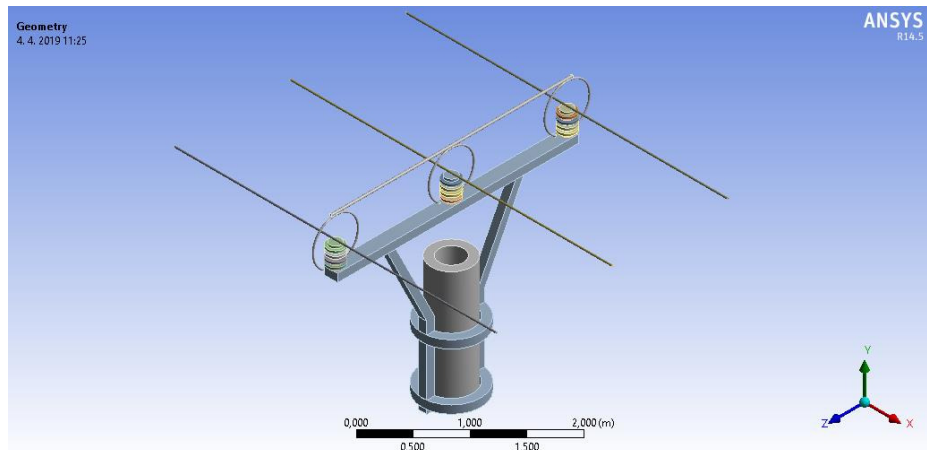
### A. Výber zábran proti vtákom

V ďalšom kroku bolo potrebné vybrať vhodné zábrany proti vtákom, ktoré boli uvažované v tomto príspevku a ktoré boli osadené na vn stožiar 22 kV vedenia. Boli zvolené 4 druhy zábran: hrebeňové zábrany, konzolová chránička, „birdring“ zábrana a zábrana tvaru „H“ od firmy 4TECH. Prvé dve zábrany je možné vidieť bežne na vn stožiaroch už aj dnes, ďalšie dve zábrany sa čoraz viac dostávajú do povedomia elektroenergetikov a práve to bolo hlavný dôvod ich výberu.

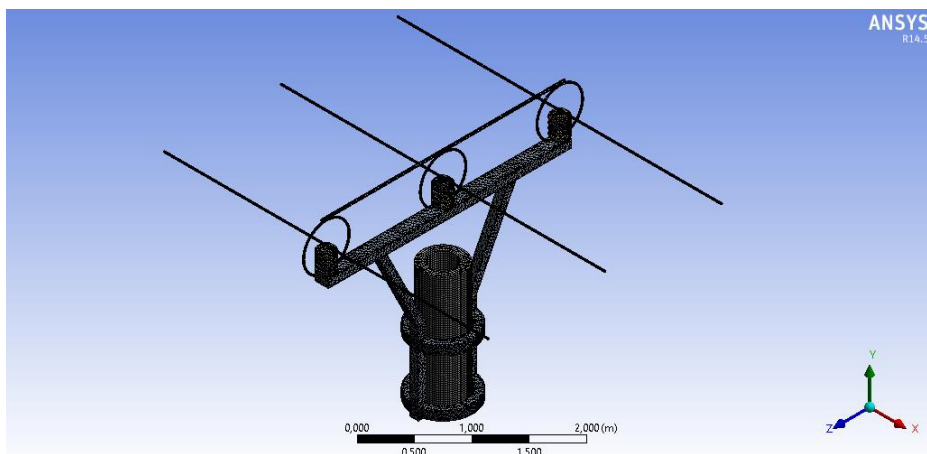
### B. Simulácia rozloženia magnetického a elektrického poľa

Pre simuláciu elektromagnetického poľa bol vybraný multifyzikálny program ANSYS, ktorý je vhodný pre riešenie EMP tohto druhu. Prvým krokom bolo vytvorenie geometrického modelu stožiara s vybranou zábranou proti vtákom, ktorý bol modelovaný tak, aby korešpondoval so skutočným stožiarom (rozmery stožiara a zábrany proti vtákom boli zachované). Ďalším

podstatným krokom bolo vytvorenie siete konečných prvkov. Táto sieť je potrebná pre analýzu rozloženia magnetického a elektrického poľa. Veľkosť oka siete pre magnetické pole bola 2 cm. Pre elektrické pole bola veľkosť oka siete 1 cm.



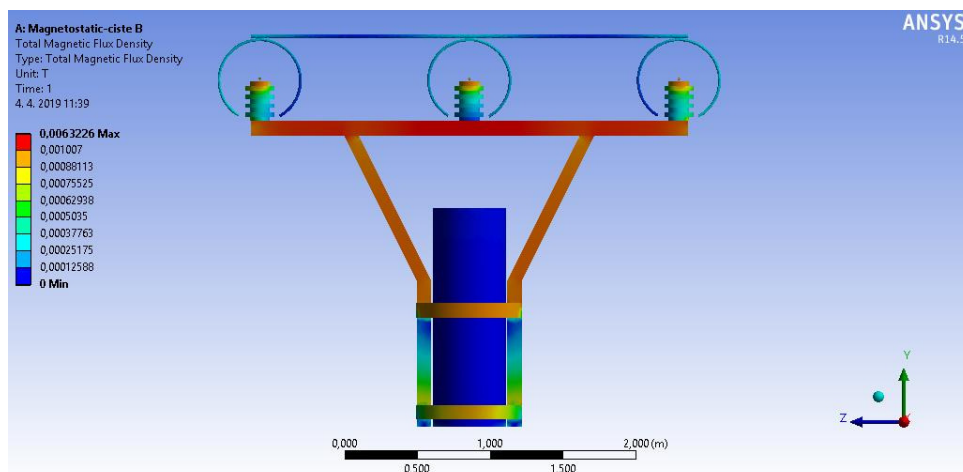
Obr. 1 Rozloženie intenzity elektrického poľa v simulovanom poli vo výške 0,3 m nad zemou



Obr. 2 Sieť konečných prvkov geometrického modelu vn stožiaru s „Birdring“ zábranou

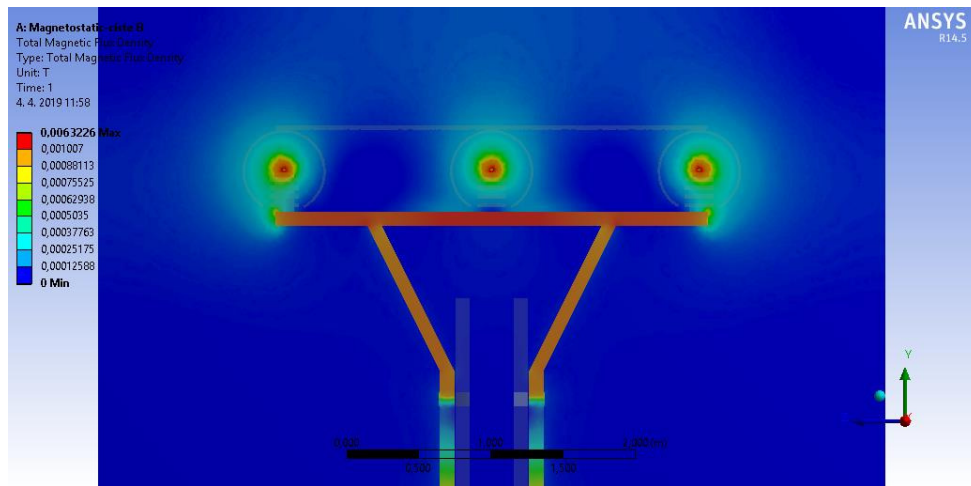
Ďalším dôležitým krokom pri simulácii rozloženia magnetického a elektrického poľa v programe ANSYS, bolo zadanie vstupných parametrov. V príspevku bolo uvažované, že elektrické vedenie je zaťažené na 100% svojej kapacity. Z toho dôvodu pre magnetické pole bola zvolená vstupná hodnota prúdu 300 A. Taktiež bolo potrebné na hraniciach okolia zadať hraničnú podmienku nulový potenciál. Pre elektrické pole bolo potrebné zadať vstupný prúd a vstupné napätie. Hodnota prúdu bola 300 A a hodnota napätia bola 23,6 kV.

### C. Vyhodnotenie výsledkov magnetického poľa v okolí vn stožiaru s „Birdring“ zábranou



Obr. 3 Rozloženie magnetického poľa v okolí stožiaru s „Birdring“ zábranou bez zobrazenia okolia



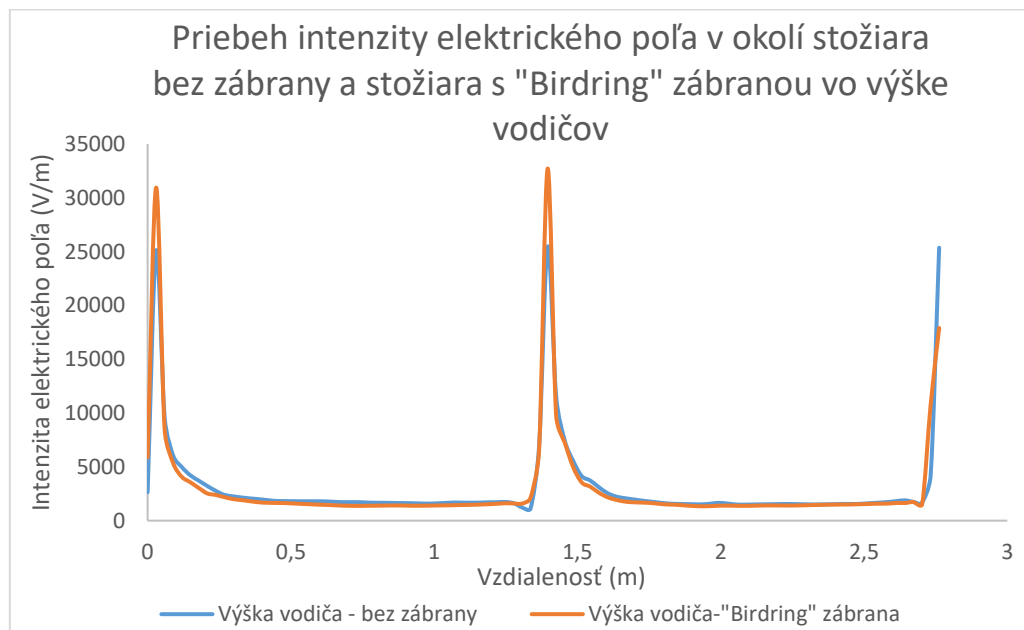


Obr. 4 Rozloženie magnetického poľa v okolí stožiara s „Birdring“ zábranou so zobrazením okolia

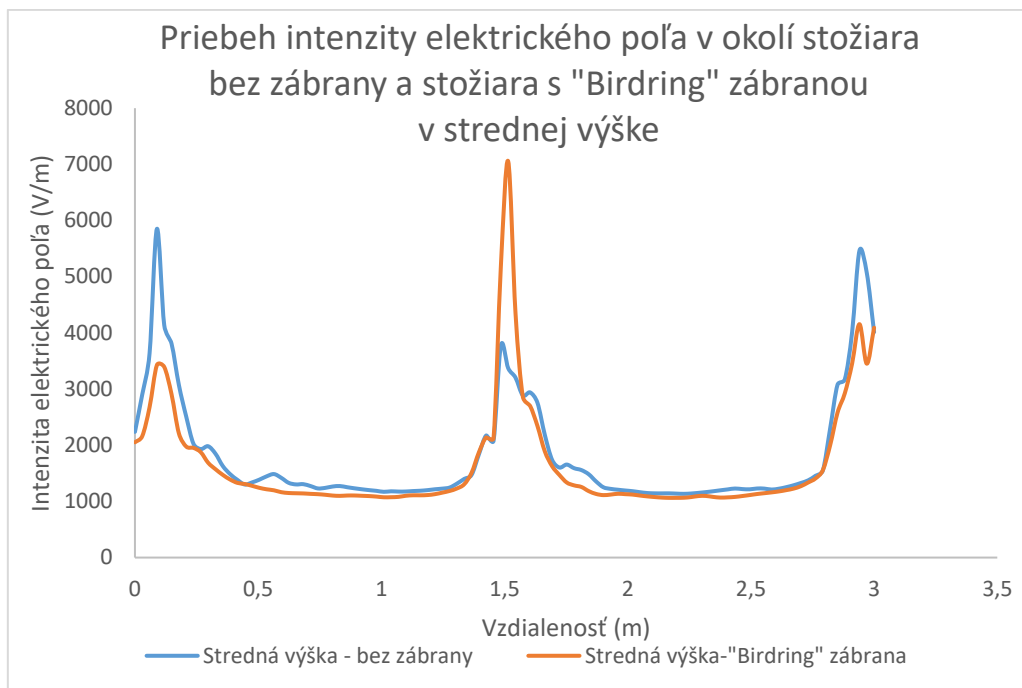
Z (Obr. 3) a (Obr. 4) je vidieť, že najväčšie hodnoty magnetickej indukcie boli pozorované na nosnej konzole, čo je spôsobené vysokou hodnotou relatívnej permeability konzoly v porovnaní s ostatnými materiálmi. Maximálna hodnota magnetickej indukcie bola 6,3 mT. Ďalej je možné povedať, že magnetická indukcia dosahovala zvýšené hodnoty hlavne v okolí vodičov a obrúče zábrany, avšak bez výraznejších deformácií, keďže „birdring“ zábrana je z elektricky/magneticky nevodivého (plastového) materiálu. Ďalej je vidieť, že magnetická indukcia smerom od zdroja (vodičov) klesá, keďže je nepriamoúmerná vzdialenosti od zdroja (vodičov).

*D. Vyhodnotenie výsledkov elektrického poľa v okolí vn stožiara s „Birdring“ zábranou*

Vzhľadom na to, že vizuálne rozloženie elektrického poľa bolo pomerne neprehľadné, bolo vyhodnocované na základe grafických závislostí, vo výške vodičov a v strednej výške zábrany.



Obr. 5 Porovnanie priebehu intenzity elektrického poľa v okolí stožiara bez zábrany a stožiara s „Birdring“ zábranou



Obr. 6 Porovnanie priebehu intenzity elektrického poľa v okolí stožiaru bez zábrany a stožiaru s „Birdring“ zábranou

Z grafu (Obr. 5) je vidieť, že po osadení „Birdring“ zábrany hodnoty intenzity elektrického poľa stúpnu predovšetkým v okolí fázových vodičov, čo je dané predovšetkým konštrukciou „Birdring“ zábrany. „Birdring“ zábrana má svoje obruče umiestené okolo izolátorov a stredom týchto obrúč prechádza fázový vodič. Práve táto konštrukcia spôsobuje nárast hodnôt intenzity elektrického poľa v dôsledku prítomnosti nehomogenity. V miestach medzi vodičmi je vidieť pokles hodnôt, čo je spôsobené faktom, že intenzita elektrického poľa klesá nepriamoúmerne so štvorcem vzdialenosti od zdroja. Ďalej podľa (Obr. 6) je vidieť, že prítomnosť „Birdring“ zábrany, hodnoty intenzity elektrického poľa v strednej výške príliš neovplyvňuje (až na miesta v okolí stredného vodiča, fázy L2) a hodnoty sú dokonca častokrát nižšie ako v prípade stožiaru bez avi-zábrany.

#### E. Variant so znečistenou „Birdring“ zábranou

V praxi je bežné, že vzdušné vedenia a ich príslušenstvo sú vystavené poveternostným vplyvom. Medzi tieto poveternostné vplyvy môže patriť dážď, vlhkosť poprípade v niektorých oblastiach smog – teda špina (znečistenie). Z tohto dôvodu bolo potrebné pri simulácii uvažovať aj znečistenie zábran proti vtákom a analyzovať jeho vplyv na rozloženie magnetického (elektrického) poľa. Preto bola v príspevku [3] vypracovaná podrobná analýza elektromagnetického poľa v okolí vn stožiarov aj v prípade znečistených zábran.

### III. ZÁVER

V tomto príspevku bola prezentovaná časť výsledkov štúdie znečistenia zábran proti vtákom a jej vplyv na rozloženie elektromagnetického poľa. Z nasimulovaných hodnôt vyplýva, že ak sú zábrany z plastového materiálu, ich vplyv na magnetické pole je minimálny. Čo sa týka vplyvu na elektrické pole, hodnoty intenzity elektrického poľa sa zvýšili hlavne v okolí fázových vodičov. Preto je potrebné sa zamyslieť aj nad tým, či tieto zvýšené hodnoty nemôžu nepriaznivo vplývať na dosadajúce vtáctvo, a či pôsobením vysokých hodnôt intenzity elektrického poľa nemôže dôjsť k úrazu, alebo poraneniu vtáctva a taktiež, či v prípade údržby nemôže byť ohrozená obsluha.

#### IV. POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR a SAV podporenej grantom VEGA 1/0372/18, VEGA 1/0435/19 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.

#### LITERATÚRA

- [1] Kóošová, M., „Hodnotenie kvality života a zdravia obyvateľov žijúcich pod vedením zvlášť vysokého napätia“, 2008. [online]. [cit. 2019-5-6]. Dostupné na internete: [https://fns.uniba.sk/fileadmin/prif/actaenvi/ActaEnvi\\_2008\\_2/01\\_Koosova.pdf](https://fns.uniba.sk/fileadmin/prif/actaenvi/ActaEnvi_2008_2/01_Koosova.pdf)
- [2] Elektrická energia, „Výroba, prenos a spotreba elektrickej energie“, [online]. [cit. 2019-5-6]. Dostupné na internete: <https://vyroba-elektrickej-energie5.webnode.sk/vyroba-prenos-a-spotreba-elketrickej-energie/>
- [3] Gdovin, D., „Analýza elektromagnetického poľa v okolí vn stožiarov“, Diplomová práca. Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2019.
- [4] Mayer, D., „Aplikovaný elektromagnetizmus“. Nakl. Kopp, Č. Budějovice 2012. ISBN 978-80-7232-436-1.
- [5] Dědková, J., „Modelování elektromagnetických polí“, Vysoké učení technické v Brně, 2006, 82 strán.
- [6] Vyhláška Ministerstva zdravotníctva SR č. 534/2007 Z.z., z 16. augusta 2007 o podrobnostiach a požiadavkách na zdroje elektromagnetického žiarenia a na limity expozície obyvateľov elektromagnetickému žiareniu v životnom prostredí.
- [7] Nariadenie vlády SR č. 209/2016 Z.z., z 1. júla 2016 o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou elektromagnetickému poľu.

# Analýza Er-Yb vlnovodného zosilňovača pre DWDM systém v pásme C

<sup>1</sup>Tomáš HUSZANÍK, <sup>2</sup>Ján TURÁN, <sup>3</sup>Luboš OVSENIK,

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

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

**Abstrakt** — Rozsiahly rast telekomunikačných systémov viedol k rozvoju aktívnych optických sietí. Optické systémy s hustým vlnovým delením DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) sú dnes najslubnejšou technológiou optických vlákien. Existencia diaľkových DWDM systémov je možná vďaka vláknovým zosilňovačom. V tomto príspevku sú prezentované charakteristiky výkonu a zosilnenia erbium-ytterbiového vlnovodného zosilňovača (EYDWA – Erbium-Ytterbium Doped Waveguide Amplifier) s vlnovou dĺžkou čerpaceho zdroja 980 nm. Hustota iónov yterbia a výkon laserového čerpadla sú menené tak, aby sa našli optimálne parametre zosilňovača, ktoré sú vhodné pre multikanálový DWDM prenos.

**Kľúčové slová** — erbium, DWDM, vlnovodný zosilňovač, ytterbium.

## I. ÚVOD

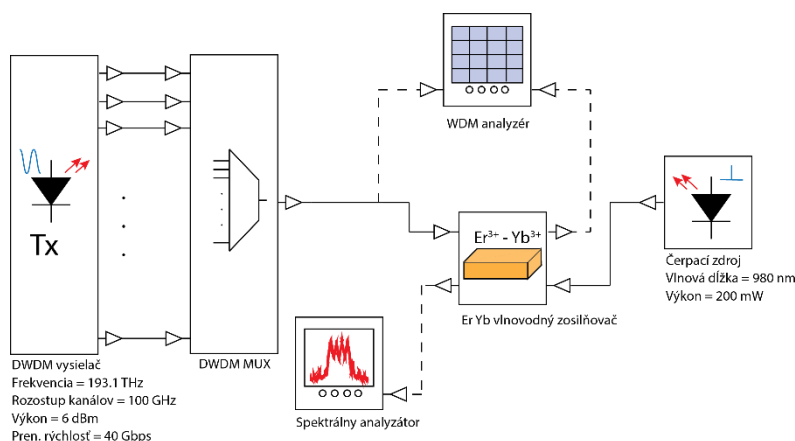
Počas posledných niekoľkých rokov využívanie technológie multiplexovania s hustou vlnovou dĺžkou (DWDM) poháňalo vývoj širokopásmových a kódovo transparentných optických zariadení, ako sú multiplexory, rozbočovače, spojky, zlučovače a zosilňovače. Väčšina súčasných systémov DWDM využíva moderné erbium dopované vláknové zosilňovače (EDFA – Erbium Doped Fiber Amplifier) vyrobené zo skla na báze oxidu kremičitého dopovaného iónmi  $\text{Er}^{3+}$ . Limity EDFA používané v DWDM sú dobre známe. Hlavnou nevýhodou EDFA je jej komplexnosť a tým aj cena. Erbium dopovaný vlnovodný zosilňovač (EDWA – Erbium doped Waveguide Amplifier) predstavuje dobrú alternatívu k EDFA. EDWA majú niekoľko výhod oproti bežne používaným EDFA, ako sú: žiadne presluchy medzi súčasne zosilnenými kanálmi, nízka hladina šumu a nízka spotreba energie. Na rozdiel od EDFA ponúka EDWA menším rozmerom možnosti vysokej integrácie. Môže byť integrovaný s inými optickými komponentmi, ako sú: rozbočovače, spojky, zlučovače atď. do jedného čipu. Avšak, EDWA môže trpieť malými rozmermi integrovaných zariadení, pretože celkový zisk je daný dĺžkou dopovaného vlnovodu. Aby sa to kompenzovalo, vlnovod vyžaduje dopovanie s vysokou koncentráciou  $\text{Er}^{3+}$ . EDWA sa zvyčajne čerpá pri vlnovej dĺžke 980 nm [1-3]. Toto čerpadlo s veľkým prierezom absorpcie spôsobuje neprítomnosť spontánnej emisie vlnovodu. Poskytuje dobrý výkon optického zosilnenia, účinnosti a nízkej úrovne šumu. Výkon EDWA môže byť optimalizovaný pomocou ytterbiových iónov -  $\text{Yb}^{3+}$ . Zosilňovač tohto druhu sa nazýva Er-Yb vlnovodný zosilňovač EYDWA. Absorpčný spektrum yterbia sa prekrýva s absorpčným spektrom erbia - 980 nm. V porovnaní s erbium má ytterbium väčší absorpčný prierez pri 980 nm. Často sa používa na zvýšenie citlivosti erbia [3-6].

## II. SIMULAČNÝ MODEL

V prostredí OptiSystem™ bol vytvorený simulačný model erbium-ytterbiového dopovaného vlnovodného zosilňovača. Simulácia je založená na princípe TDSS (Time-Domain Split-Step) [7].

Bloková schéma DWDM systému s EYDWA pre multikanálové zosilnenie je na Obr. 1. V tomto nastavení je 8-kanálový, 16-kanálový, 32-kanálový a 64-kanálový signál DWDM zosilnený pomocou EYDWA. Hlavným cieľom tohto nastavenia je určiť efektívnosť navrhovaného EYDWA na zosilnenie signálu s veľkou šírkou pásma závislou na hustote  $\text{Yb}^{3+}$  iónov. DWDM kanály tohto nastavenia sú pridelené v optickom C-pásme (1530 nm - 1565 nm),

ktorý má najmenší útlm a je kompatibilný s vláknovými zosilňovačmi. Kanálové frekvencie 8-kanálového DWDM nastavenia sú (193,10 - 193,80) THz (1552,52 - 1546,92 nm), 16-kanálový DWDM - (193,10 - 194,60) THz (1552,52 - 1540,56 nm), 32-kanálový DWDM - (193,10 - 196,20) THz (1552,52 - 1527,99 nm), 64-kanálový DWDM (190,10 - 196,40) THz (1577,03 - 1526,44 nm). Rozstup kanálov medzi susednými kanálmi je nastavený na 100 GHz pre 8,16, 32 a 64 kanálový DWDM. Straty spôsobené zavedením iónov  $\text{Er}^{3+}$  a  $\text{Yb}^{3+}$  do materiálu difúziou pri signáli a vlnovej dĺžke čerpadla sú uvažované v simulačnom modeli. Vlnová dĺžka laserového čerpadla je nastavená na 980 nm. Vlnovod sa prečerpáva proti smeru šírenia sa signálu. Hustota  $\text{Er}^{3+}$  iónov vo vlnovode je  $2e+026$  atómov/ $\text{m}^3$  počas všetkých simulácií. Hustota yterbioých iónov  $\text{Yb}^{3+}$  sa mení z  $1e+026$  na  $2e+027$  atómov/ $\text{m}^3$ , aby sa pozorovalo optimálne množstvo yterbia potrebného vo vlnovode. Ióny yterbia majú vyšší absorpčný parameter, ktorý spôsobuje zníženie zosilnenia zosilňovača, keď sa zvýši koncentrácia iónov  $\text{Yb}^{3+}$ . To znamená, že výkon čerpadla bude absorbovaný iónmi  $\text{Yb}^{3+}$  na konci vlnovodu, čo spôsobí zníženie zosilnenia zosilňovača [7-9]. Parametre navrhovaného EYDWA sú uvedené v Tab. 1.



Obr. 1 Bloková schéma DWDM systému s EYDWA

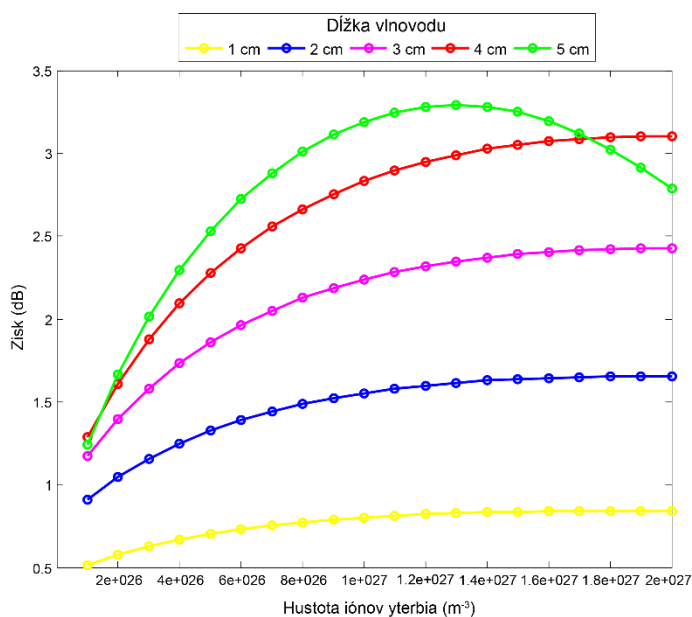
Tab. 1 Parametre EYDWA

| Parameter                                   | Hodnota  | Jednotka            |
|---|----------|---------------------|
| Hustota $\text{Er}^{3+}$                    | $2e+026$ | atoms/ $\text{m}^3$ |
| Životnosť $\text{Er}^{3+}$                  | 11       | ms                  |
| Vstupné straty $\text{Er}^{3+}$             | 29.3     | dB/m                |
| Prebytočná strata čerpadla $\text{Er}^{3+}$ | 37.3     | dB/m                |
| Hustota $\text{Yb}^{3+}$                    | $1e+026$ | atoms/ $\text{m}^3$ |
| Životnosť $\text{Yb}^{3+}$                  | 29.1     | ms                  |
| Vstupné straty $\text{Yb}^{3+}$             | 24       | dB/m                |
| Prebytočná strata čerpadla $\text{Yb}^{3+}$ | 30.5     | dB/m                |
| Dĺžka vlnovodu                              | 3        | cm                  |
| Vlnová dĺžka čerpadla                       | 980      | Nm                  |
| Výkon čerpadla                              | 200      | mW                  |

### III. ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV A DISKUSIA

Ako prvé, sa analyzoval výkon jedného kanálu s vlnovou dĺžkou 1552,524 (193.1 THz) zosilneného EYDWA. Na obr. 4 je možné vidieť zosilnenie signálu s vlnovou dĺžkou 1552,524 nm ako funkciu koncentrácie yterbia pre rôzne dĺžky vlnovodu zosilňovača. Vlnová dĺžka 1552,524 nm (193,1 THz) sa používa vzhľadom na to, že ide o referenčnú vlnovú dĺžku pre systémy DWDM. V tomto prípade sa koncentrácia iónov  $\text{Yb}^{3+}$  zmení z  $1e+026$  na  $2e+027$  atómov/ $\text{m}^3$ . Hustota  $\text{Er}^{3+}$  zostáva nezmenená:  $2e+026$  atómov/ $\text{m}^3$ . V tomto experimente sa analyzuje päť dĺžok aktívneho vlnovodu: 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm a 5 cm. Zvýšením hustoty  $\text{Yb}^{3+}$  sa zosilnenie 1 cm vlnovodného zosilňovača zvýši o malú časť. Zisk je 0,514 dB pre  $1e+026$  atómov/ $\text{m}^3$  hustoty  $\text{Yb}^{3+}$ . Maximálny zisk 0,840 dB sa dosiahne pre  $2e+027$  atómov/ $\text{m}^3$  hustoty. Rozdiel zosilnenia je 0,326 dB. Zisk EYDWA sa zvyšuje, keď zvyšujeme hustotu yterbioých iónov pre vlnovod 2, 3 a 4 cm. Keď však dosiahneme kritickú dĺžku 5 cm a hustotu yterbia  $1,4e+027$ , zisk začne klesať. Dôvodom je, že sa tvoria yterbiové klastre. To spôsobuje, že sa energia neprenáša na ióny erbia a energia čerpaceho lasera sa stráca, keď signál dosiahne

koniec vlnovodu. Na základe týchto výsledkov poskytuje vlnovod 4 cm najlepší výkon. Minimálny a maximálny zisk každého zosilňovača, ako aj rozdiel zosilnenia je uvedený v Tab. 2.

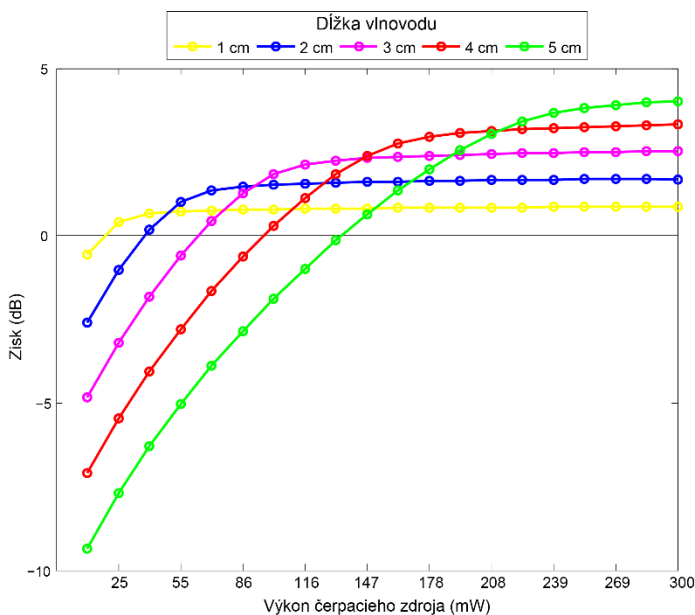


Obr. 2 Zisk EYDWA pri zmene hustoty Yb<sup>3</sup>

Tab. 2. Hodnoty zisku EYDWA z prvého experiment

| Dĺžka vlnovodu (cm) | Min zisk (dB) | Max zisk (dB) | Rozdiel zisku (dB) |
|---------------------|---------------|---------------|--------------------|
| 1                   | 0.514         | 0.840         | 0.326              |
| 2                   | 0.908         | 1.652         | 0.717              |
| 3                   | 1.171         | 2.426         | 1.255              |
| 4                   | 1.287         | 3.102         | 1.815              |
| 5                   | 1.243         | 2.788         | 1.545              |

Obr. 5 znázorňuje zosilnenie EYDWA ako funkciu výkonu čerpaceho lasera. Nastavenie je rovnaké ako v predchádzajúcom experimente, avšak hustota iónov Yb<sup>3+</sup> je nastavená na 1e+027 atómov/m<sup>3</sup>. Výkon čerpadla sa pomocou lineárneho kroku zdvihne z 10 na 300 mW. Výsledné hodnoty sú uvedené v Tab. 3.



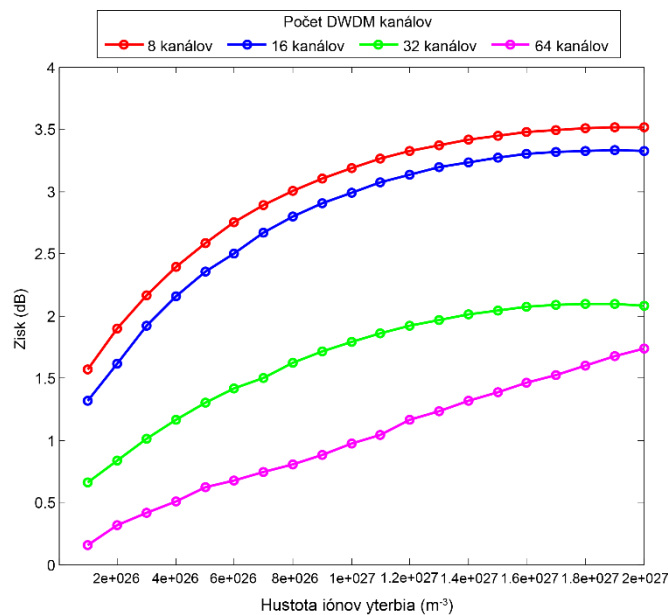
Obr. 3 Zisk EYDWA pri zmene čerpaceho výkonu

Tab. 3 Hodnoty zisku EYDWA z druhého experimentu.

| Dĺžka vlnovodu (cm) | Min zisk (dB) | Max zisk (dB) | Rozdiel zisku (dB) |
|---------------------|---------------|---------------|--------------------|
| 1                   | -0.556        | 0.871         | 1.427              |
| 2                   | -2.597        | 1.716         | 4.313              |
| 3                   | -4.843        | 2.533         | 7.376              |
| 4                   | -7.104        | 3.315         | 10.419             |
| 5                   | -9.366        | 4.024         | 13.390             |

Ďalej sa testuje schopnosť navrhovaného EYDWA zosilniť viac kanálov vlnovej dĺžky DWDM. Pre túto simuláciu boli vytvorené 8, 16, 32 a 64 kanálové systémy DWDM s optickou DPSK moduláciou a prenosovou rýchlosťou 40 Gb/s na kanál. V tomto prípade je nastavenie EYDWA nasledovné: dĺžka vlnovodu je 4 cm a výkon čerpadla je 200 mW.

Obr. 8 ukazuje závislosť celkového prírastku hustoty  $\text{Yb}^{3+}$  pre 8, 16, 32 a 64-kanálový DWDM systém. Celková efektívnosť zisku navrhovaného EYDWA klesá so zvýšeným počtom zosilňovaných kanálov. Šírka pásma 8-kanálového DWDM je 700 MHz a 16 kanálov 1500 MHz. EYDWA dokáže efektívne zosilniť 8-kanálové a 16-kanálové signály so zvyšujúcou sa hustotou  $\text{Yb}^{3+}$  iónov. Celkový zisk EYDWA však klesá pri zosilňovaní signálov s väčšou šírkou pásma: 32-kanálový (3100 MHz) a 64-kanálový (6300 MHz). Hodnoty zisku tohto experimentu sú uvedené v Tab. 5.



Obr. 4 Zmena zisku EYDWA pre rôzne DWDM systémy.

Tab. 4. Hodnoty zisku EYDWA z tretieho experimentu.

| Počet kanálov | Min zisk (dB) | Max zisk (dB) | Rozdiel zisku (dB) |
|---------------|---------------|---------------|--------------------|
| 8             | 1.565         | 3.512         | 1.947              |
| 16            | 1.313         | 3.323         | 2.01               |
| 32            | 0.661         | 2.083         | 1.422              |
| 64            | 0.154         | 1.736         | 1.582              |

#### IV. ZÁVER

V tomto príspevku je prezentovaný výkon erbium-ytterbiového vlnovodného zosilňovača pre systém DWDM. Na základe získaných výsledkov je možné urobiť tieto závery: zvýšenie výkonu EYDWA sa zvyšuje zvýšením hustoty iónov yterbia vo vlnovode. Celkový zisk však závisí od



dĺžky vlnovodu. Optimálna dĺžka vlnovodu v týchto experimentoch je 3 cm a 4 cm, pretože poskytuje dostatočnú úroveň zosilnenia. V porovnaní s vlnovodom 3 a 4 cm, vlnovody 1 cm a 2 cm majú nižší celkový zisk pri rovnakej hustote  $\text{Yb}^{3+}$  iónov. Čo sa týka výsledkov simulácie, 5 cm vlnovodný zosilňovač je nie je vhodný pre DWDM, pretože je menej účinný pri nižších úrovniach výkonu čerpadla a dosahuje nízky zisk so zvýšenou hustotou  $\text{Yb}^{3+}$  iónov. Analyzuje sa aj výkon EYDWA zosilňujúceho viackanálového signálu. Na základe tohto experimentu je navrhnutý EYDWA menej efektívny s 32 a 64-kanálovým DWDM, ktorý rozmiestňuje 100 GHz kanálové rozstupy.

#### POĎAKOVANIE

Práca na tomto príspevku bola podporená prostriedkami z nasledujúcich výskumných grantov: KEGA 023TUKE-4/2017, VEGA 1/0772/17 a APVV-17-0208.

#### LITERATÚRA

- [1] L. G. Kazovsky, W. T. Shaw, D. Gutierrez, N. Cheng, S. W. Wong, „Next-Generation Optical Access Networks”, *Journal of Lightwave Technology*, vol. 25, no. 11, 2017. DOI: 10.1109/JLT.2007.907748.
- [2] R. Ramaswami, K. N. Sivarajan, G. H. Sasaki. “Optical Networks,” 2010. 928p. ISBN 978-0-12-374092-2.
- [3] J. M. Simmons, “Optical Network Design and Planning,” 2014, 529 p. ISSN: 1935-3847, DOI: 10.1007/978-3-319-05227-4.
- [4] S. P. Singh and N. Singh, “Nonlinear Effects in Optical Fibers: Origin, Management and Applications,” *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 73, 249-275, 2007. DOI:10.2528/PIER07040201.
- [5] H. Nain, U. Jadon, V. Mishra, “Performance investigation of Kerr effects on to WDM fiber optical networks,” *IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information and Communication Technology*, 2016, pp. 2018-2022, DOI: 10.1109/RTEICT.2016.7808193.
- [6] A. Kaur, S. Dewra. “Comparative Analysis of Different Modulation Techniques in Coherent Optical Communication System,” *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, vol. 3, issue 8, p. 7193 – 7200, August 2015. ISSN: 2320-9801.
- [7] K. Thyagarajan, A. Ghatak, “*Fiber Optics Essentials*”, ISBN 978-0-470-09742-7, 2007, John Wiley & Sons, Inc. Hoboken New Jersey, 239 pp.
- [8] T. Huszanik, L. Ovsenik, and J. Turán, “Performance Analysis of Optical Modulation Formats for 10 Gbit/s DWDM System,” *Carpathian J. Electron. Comput. Eng.*, vol. 2, no. 10, pp. 3–8, 2017.
- [9] M. Filka, “*Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*”, Brno, 2009, 1<sup>st</sup> edition, ISBN 978-80-86785-14-1, 369 pp.

# Effective Algorithms for Multiview Video Coding

<sup>1</sup>Renát HALUŠKA, <sup>2</sup>Luboš OVSENÍK, <sup>3</sup>Peter ŠULAJ

<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>renat.haluska@tuke.sk, <sup>2</sup>lubos.ovsenik@tuke.sk <sup>3</sup>peter.sulaj@tuke.sk,

**Abstract** — This article deals with the implementation of multi-view video coding, that is, creating a real-time panorama, called a video-codec. video stitching, using Raspberry Pi minicomputer. Video Stitching is basically joining two or more images into one panorama. Input images are made using two cameras, namely camera module and webcam. The work is aimed at developing an application that will be very useful in security and surveillance.

**Keywords** — multi-view coding, panorama, image stitching, video stitching

## I. INTRODUCTION

Recent years have witnessed the growth of CoR applications that provide consumers with different immersion experiences [1]. As a core technology enabling VR, panoramic video processing is becoming a topic of increased interest in both academia and industry. Nowadays, it is common practice to produce panoramic video (stitching) and view panoramic video, for example, using head-mounted imaging devices. However, due to the high resolution of panoramic video (usually higher than 4K to ensure user experience) and the resulting high data transfer rate, it is still a problem to transmit panoramic video over existing networks. This challenge highlights the urgent requirement for more efficient compression of panoramic video.

Video streaming services such as YouTube or Netflix are popular methods for watching entertainment content today. Due to the large volume of video and limited network bandwidth, video compression is needed to stream video content from server to client. Because video compression can reduce video size, it often comes with unwanted compression artifacts, such as image blocking effects and blurred, fuzzy effects. Decades of effort have been made to achieve the best video quality within bandwidth limitations. Recent video compression methods such as MPEG-4, H.264 and HEVC combine various classical techniques, including image transformation coding, predictive coding, source coding, and motion estimation in a well-constructed frame. These methods are general and can be applied to different video domains to effectively compress most of the video information. However, the residual information, which is the difference between uncompressed and compressed video, is very difficult to compress because it contains highly non-linear patterns. Neither linear predictive coding nor linear transform coding can effectively compress the remainder [2].

## II. COMPRESSION CODING STANDARDS

File size and bit rate are some of the major issues associated with digital video and a major motivation factor for video compression. The latter includes algorithms that reduce the number of bits and try to maintain a relatively similar visual perception. Such algorithms are defined by various video compression standards that improve compression efficiency or so-called compression factor [3] [4].

Despite various attempts to test video compression efficiency over a wide range of bit rates and video codec, little attention has been paid to a narrower range of bit rate compression efficiency specifically suited for video hosting websites due to different video content. In addition, the results of previous experiments were mostly obtained using MSU quality measurement tool [5], but there are alternatives to FFmpeg [6]. Although some studies have not taken into account a compression factor that can be perceived very naturally, since there is a positive correlation between factor and compression efficiency [4].

H.264 or Advanced Video Coding (AVC), advanced video encoding, has been developed and

standardized in collaboration with the Video Coding Expert Group (VCEG) by ITU-T International Telecommunications Union and the ISO / IEC Experts Group for Motion Picture (MPEG). Its first version was published in 2003 [7]. H.264 is currently one of the most important standards. In view of Unisphere research [8] [9], 78% of all respondents chose H.264 as their main video encoding standard. Others [10] analyzed file types that served video content sites and saw H.264 in 53% of cases despite being exceeded by newer standards a few years ago. Wiegand et al. [11] highlight the main features of the standard in relation to previous video coding standards. As far as motion compensation is concerned, H.264 supports more flexible block sizes (4x4 - 16x16) and a quarter of the exact compensation sample. It also differs from its predecessors by using a large number of previously decoded frames to predict the values of the incoming frame [12].

### III. VIDEO STITCHING ALGORITHM

In order to implement images captured from multiple cameras in a single view, it is necessary to find common points of interest using an algorithm that can extract these points. These points found from both images are compared with each other to determine which points are the same in the image. At the point where the points matched, these points are subsequently overlapped, resulting in the stitching of the images. The SIFT algorithm used to extract the found points and the RANSAC algorithm, which is used to eliminate faulty correlation between points.

Panorama is a picture created by combining a series of photos combined into one large image. Combining a series of photos can provide a complete view of the area or place that does not fit into one shot. Panoramic Image Sewing is the process of creating a panoramic image by overlaying a series of smaller images (views). The first step in generating a panoramic image is to set up the cameras and then capture the images by deciding in advance what kind of view the cameras will achieve.

One of the most common problems with image capture is the change in light intensity between adjacent images. Ideally, the area or object must have the same intensity. Due to changes in light intensity or angle between camera and light source, the intensity values for the same area or object in adjacent images may vary. Another problem associated with lighting is reflected light on surfaces such as spectacle zones or shiny metal. Images may also suffer from distortion of the lens used to capture them. However, distortion can be adjusted by applying a transformation to each of the images captured by the cameras [13].

To create a larger image with a series of overlapping smaller images, or panoramas, you need to find a suitable overlay to align the images correctly. To do this, the process of stitching the images is appropriate to find overlays to align the two overlapping images so that the projection of the pixels is always aligned over any position.

The estimated overlap area ratio is the  $W_k$  window. The right side of the left image must cover at least 50% of the width and height of the input images to make sure it is within the overlap area. The first image on the left indicates that the coverage area between  $I_k$  and  $I_{k+1}$  is the right side of  $I_k$  and the left side of  $I_{k+1}$ .  $W_k$  is defined on the right side and is vertically positioned in the center of the image.  $I_k$  is an image obtained from the average intensity of red, green, and blue channels from a  $k$ th image in a sequence of input images, where  $k$  can be from 1 to the total number of images in a series of images.  $W_k$  is a defined window of the size  $m \times n$  in the  $I_k$  image, with the upper left corner in the  $(a, b)$  position in the  $I_k$  image, as can be seen in Figure 1. Image  $I_{k+1}$ , is transformed by the transformation of the selected search file. The  $W_{k+1}$  window of the same size and  $W_k$  shape is defined in the  $I_{k+1}$  image. The position of  $W_{k+1}$  on  $I_{k+1}$  is obtained by applying the inversion of the selected transformation to  $(a, b)$ .

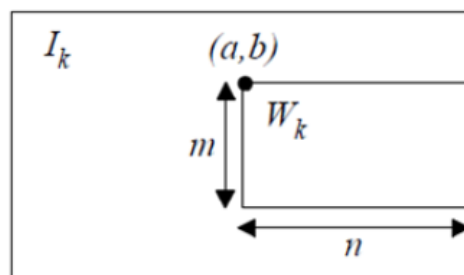


Figure 1 Window in position  $(a, b)$

The degree of similarity between the two windows is the sum of the differences in the absolute values of the two windows.

$$S_k(u, v) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |W_k(i, j) - W_{k+1,(u,v)}(i, j)| \quad (1)$$

Once similarity measures are calculated for all possible positions, the optimal match position is selected, marked  $(u^*, v^*)$  by examining the value of the values in  $S_k$ .

$$S_k(u^*, v^*) = \min_{1 \leq i \leq H-m, 1 \leq j \leq L-n} \{S_k(i, j)\} \quad (2)$$

It is necessary to select an input image position that has a minimum degree of similarity to the best image linking position. The reason for this is that the sum of the differences in the absolute values of the two images was used as similarity of the measure and the smaller difference usually means a high degree of similarity between the images. Therefore, the position is chosen so that the value of similarity rate in this position is the lowest in all calculated similarity rates (Fig.2).

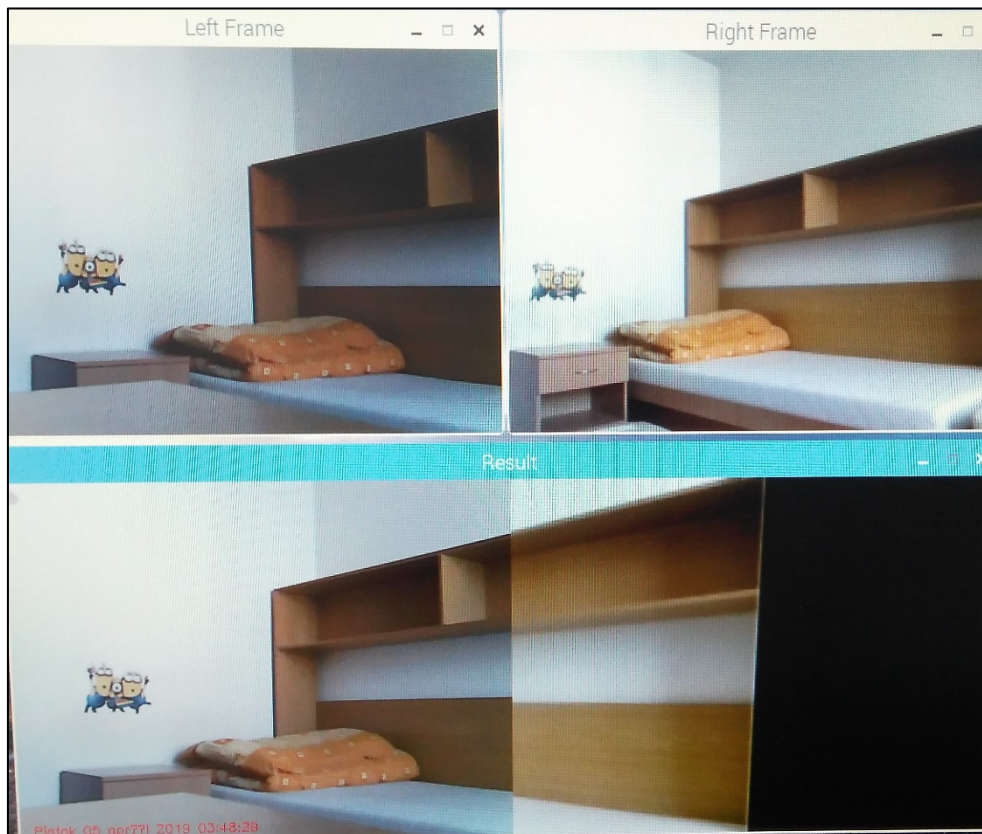


Fig. 2 Example of video stitching

#### IV. CONCLUSION

In this article, a number of real-time stitching features have been implemented. Panorama is the process of joining multiple images to get a bigger view of the scene. The solution of this work provides an innovative possibility to use it in various areas, for example in the provision of objects, in the presentation of the village, towns, etc. The main advantage is displaying the entire scanned scene, not just the part that is currently displayed by one camera.

Real-time stitching of images can be achieved by affordable access, but there are several shortcomings. For example, the non-adjustment of contrast along the stitching line could be reduced by using a color correction algorithm for each source video. An optical correction algorithm could be used to remove variations in stitched images resulting from camera lens distortion.

#### 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. 023TUKE-4/2017.

## REFERENCES

- [1] J. Isaac, "Step into a new world - Virtual Reality (VR)," *CompleteGATE*. [Online]. Available: <https://www.completegate.com/2016070154/blog/virtual-reality-explained>. [Accessed: 28-May-2019].
- [2] Y.-H. Tsai and M.-H. Yang, "Locality preserving hashing," *2014 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 2014.
- [3] S. Ponlatha and R. S. Sabeenian, "Comparison of Video Compression Standards," *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, vol. 5, pp. 549–554, Dec. 2013.
- [4] D. Salomon and G. Motta, "Audio Compression," *Handbook of Data Compression*, pp. 953–1085, 2009.
- [5] K. D. Singh, A. Ksentini, and B. Marienval, "Quality of Experience Measurement Tool for SVC Video Coding," *2011 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2011.
- [6] I. E. G. Richardson, "H.264 and MPEG-4 Video Compression," 2003.
- [7] *HEVC (H.265) Workflows & Their Impact of existing AVC (H.264) Production Pipelines*. [Online]. Available: <http://helpmestream.org/hevc-h-265-workflows-their-impact-of-existing-avc-h-264-production-pipelines>. [Accessed: 28-May-2019].
- [8] "HEVC Adoption Slow But Steady Says Beamr Report," *Streaming Learning Center*. [Online]. Available: <https://streaminglearningcenter.com/codecs/hevc-adoption-slow-steady-says-beamr-report.html>. [Accessed: 28-May-2019].
- [9] "Video Playback On The Web: The Current State Of Video (Part 1)," *Smashing Magazine*, 24-Oct-2018. [Online]. Available: <https://www.smashingmagazine.com/2018/10/video-playback-on-the-web-part-1/>. [Accessed: 28-May-2019].
- [10] T. Wiegand and G. J. Sullivan, "Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard," *IEEE transactions on circuits and systems for video technology*, vol. 13, Jul. 2013.
- [11] H. Chen, D. Tong, and X. Wang, "Vortices and Performance of Internal and External Volutes," *Volume 2C: Turbomachinery*, 2015.
- [12] H. Schwarz, D. Marpe, and T. Wiegand, "Analysis of Hierarchical B Pictures and MCTF," *2006 IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, 2006.
- [13] "HEVC Adoption Slow But Steady Says Beamr Report," *Streaming Learning Center*. [Online]. Available: <https://streaminglearningcenter.com/codecs/hevc-adoption-slow-steady-says-beamr-report.html>. [Accessed: 28-May-2019].

# Coalgebras for concurrent processes using $\pi$ - calculus

*Barbora NOVOTNÁ, Valerie NOVITZKÁ*

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

barbora.novotna@tuke.sk

**Abstract** – The article deals with the problems of coalgebras for concurrent processes, specifically with coalgebra for tool for describing concurrent processes  $\pi$  - calculus. There is a derivation of coalgebra for  $\pi$  - calculus in this article, that is also applied to an example of system described by  $\pi$  - calculus. The reader is expected to have knowledge of category theory and basic knowledge of coalgebras.

**Keywords** – category, coalgebra, polynomial endofunctor,  $\pi$  - calculus

## I. INTRODUCTION

Coalgebras are mathematical structures by which we can observe the process execution in a system without knowing the details of program implementation or the actual values of internal variables. Coalgebraic functions provide us with observable output based on the internal state of the program, thus describing the program as it appears outward.

In this article we will construct a coalgebra for a very popular tool for describing concurrent processes  $\pi$  - calculus.  $\pi$  - calculus is a very powerful tool when it comes to communication between processes that run paralelly and need to access same resources.

## II. DEFINITION OF $\pi$ - CALCULUS

### A. Overview

$\pi$  - calculus is a mathematical model of processes that describes intra-program communication between processes. This communication is accomplished by transmitting a communication link between processes. The process that accepts the communication link can use it to communicate with other processes in the program [1].

### B. Syntax and operations

This mathematical model of process algebra follows the CCS (Calculus of Communicating Systems) model.  $\pi$  - calculus extends the syntax of CCS process algebra by adding the operations of transferring communication links between processes  $\bar{a}x$  and  $a(x)$ :

$$P ::= nil \mid x \mid \mu.P \mid P \setminus L \mid P[f] \mid P_1 + P_2 \mid P_1|P_2 \mid rec\ x. P \mid \bar{a}x \mid a(x).$$

$a$  and  $x$  are communication links. Communication links are in the context of  $\pi$  - calculus defined by a structure of names  $\mathcal{N}$ , that has as members the pairs  $\{a, x\} \in \mathcal{N}$ .

Meaning of the operations:

- $\bar{a}x .P$  - The operation of sending a name  $x$  using the name  $a$ , while the program continues as a process  $P$ . The object  $x$  can be a communication link but also another object of a set of names, such as data. The name  $a$  in this case represents only the communication link through which we send the name  $x$ .
- $a(x) .P$  - The name acceptance operation using a communication link  $a$ , where the program continues as a process  $P$  and the received name replaces the placeholder  $x$  in that process. As with the name sending operation,  $x$  can represent any object, and  $a$  represents communication link through which we receive the name  $x$ .

Interconnection communication links serve as the access channels to individual system modules. Controlled access to modules is important for the systems that contain concurrent processes, because if a single module attempts to access multiple threads at once or change values written in the same portion of memory, uncontrolled access could cause unwanted behavior or program execution errors.

*Example*

We have a server that controls access to the printer and the client trying to access that printer.

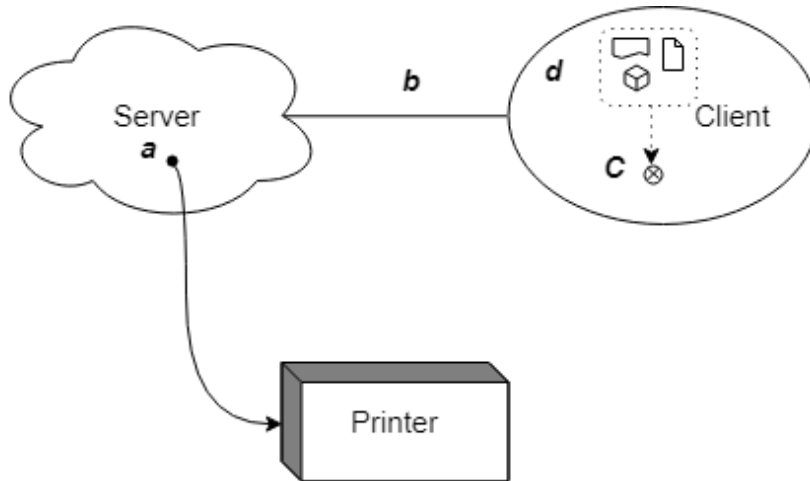


Fig. 1 Initial state of a system [1].

In the picture 1 we can see an initial state of the system where

- $a$  is a communication link between server and printer,
- $b$  is a communication link between server and client,
- $c$  is a placeholder for communication link, that is supposed to be created between client and a printer,
- $d$  is the data, that we want to transfer from client to printer.

Objects  $a, b, c$  and  $d$  are members of the set  $\mathcal{N}$ ,  $a, b, c, d \in \mathcal{N}$ .

In order for a client to be able to access printers and send data to it, the server must send its communication link to the printer  $a$  to the client using a communication link between the server and the client  $b$ . This communication link replaces the placeholder  $c$  and the client can use it to send data  $d$  to the printer. The system state after this operation is shown in the figure 2.

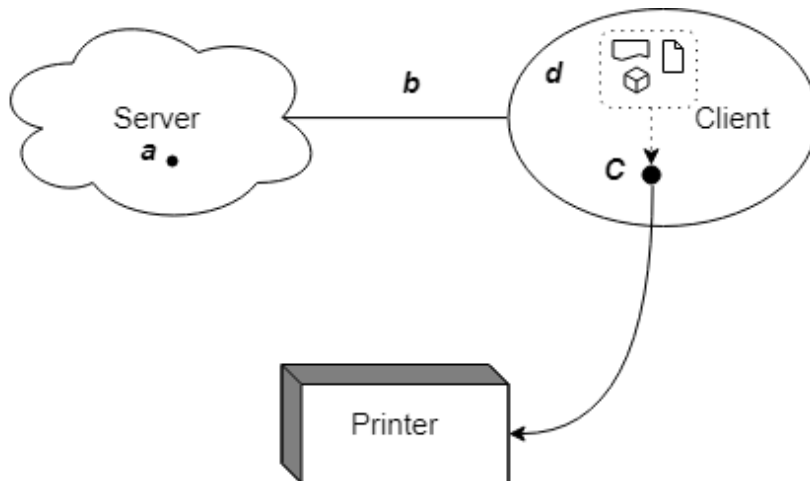


Fig. 2 State of system after interaction [1].

We can write this interaction using  $\pi$  calculus syntax as follows:

$$\bar{b}a . S \mid b(c) . \bar{c}d . P,$$

where

- $S$  indicates a server-side process
- $P$  indicates a client-side process
- $\mid$  indicates the operation of a binary parallel composition, what means that the processes  $S$  and  $P$  are performed in parallel,
- $\bar{b}a$  indicates sending object  $a$  using communication link  $b$ ,



- $b(c)$  indicates an object being received via a communication link  $b$  and replacing the placeholder  $c$  with that object,
- $\bar{c}d$  indicates sending object  $d$  using communication link  $c$  (which was received via communication link  $b$ ), thus sending data from the client to the printer.

### III. COALGEBRA FOR $\pi$ - CALCULUS

#### A. Polynomial endofunctor for $\pi$ - calculus

Now we will construct a coalgebra for  $\pi$  - calculus. In several publications, the authors independently proposed the same polynomial endofunctor for  $\pi$  - calculus [2] [3]:

$$F(X) = \mathcal{P}(X + \mathcal{N} \times X^{\mathcal{N}} + \mathcal{N} \times (\mathcal{N} \times X) + \mathcal{N} \times \delta X)$$

$\mathcal{N}$  is a set of names,  $X$  is a set of states and  $F$  is polynomial endofunctor. The powerset operation  $\mathcal{P}$  indicates that the next program state will be a subset of transition functions separated by the coproduct symbol  $+$ . Here we can notice the difference between the use of the powerset as a symbol for branching the execution of the program as it was presented in the chapter III-B and the symbol of the subset selection from the set of alternatives. It is therefore obvious that this operation is of great importance in constructing coalgebras for concurrent processes.

Importance of individual transition functions [4]:

- $F(X) = \mathcal{P}(X)$  - the following states from the set of states  $X$ ,
- $F(X) = \mathcal{P}(\mathcal{N} \times X^{\mathcal{N}})$  - accepting a name from a set  $\mathcal{N}$  ( $X^{\mathcal{N}}$ ) using a communications link  $\mathcal{N}$ , in the context of CCS, is an operation  $a(x)$ ,
- $F(X) = \mathcal{P}(\mathcal{N} \times (\mathcal{N} \times X))$  - sending a name from a set  $\mathcal{N}$  using a communication link  $\mathcal{N}$ , in the context of CCS, is an operation  $\bar{a}x$ ,
- $F(X) = \mathcal{P}(\mathcal{N} \times \delta X)$  - sending new name  $\delta$  using communication link  $\mathcal{N}$ , in the context of CCS, is an operation  $\bar{a}x$ .

#### B. Constructing coalgebra for $\pi$ - calculus

We construct a coalgebra for  $\pi$  - calculus with transition functions *next*, *input*, *output* and *outputNew*

- 1) We construct coalgebra on a state category *STATE*. We define a signature [5]  $\sum_{STATE}$  for this category:

$$\begin{aligned} \sum_{STATE} = & \\ & \text{types : State, Name} \\ & \text{operations : next : State} \rightarrow \text{State} \\ & \quad \text{input : State, Name} \rightarrow \text{State, Name} \\ & \quad \text{output : State} \rightarrow \text{State, Name, Name} \\ & \quad \text{outputNew : State} \rightarrow \text{State, Name} \end{aligned}$$

- 2) Type Representation:

$$\begin{aligned} \text{State} &\mapsto X, & X &= \{x_1, x_2, x_3, \dots\} \\ \text{Name} &\mapsto \mathcal{N}, & \mathcal{N} &= \{a, b, c, \dots, z\} \end{aligned}$$

Operations Representation:

$$\begin{aligned} \llbracket \text{next} \rrbracket &: X \rightarrow X \\ \llbracket \text{next} \rrbracket(x) &= x', x' \in X \\ \\ \llbracket \text{input} \rrbracket &: X \rightarrow \mathcal{N} \times X^{\mathcal{N}} \\ \llbracket \text{input} \rrbracket(x, n) &= n' \times x', x' \in X, n' \in \mathcal{N} \\ \\ \llbracket \text{output} \rrbracket &: \mathcal{N} \times (\mathcal{N} \times X) \\ \llbracket \text{output} \rrbracket(x) &= n \times n' \times x', x' \in X \\ \\ \llbracket \text{outputNew} \rrbracket &: \mathcal{N} \times \delta X \\ \llbracket \text{outputNew} \rrbracket(x) &= n \times x', x' \in X \end{aligned}$$

- 3) The state category *STATE* has following characteristic:

- a) Objects in the category are states  $x$  from set of states  $X$ .
- b) Morphisms are transition functions. In our case functions  $\llbracket \text{next} \rrbracket$ ,  $\llbracket \text{input} \rrbracket$ ,  $\llbracket \text{output} \rrbracket$  and  $\llbracket \text{outputNew} \rrbracket$ .
- c) For each category object, we define an identity morphism  $id_X : X \rightarrow X$ .

Now, we show that the state category  $\sum_{STATE}$  meets all of the conditions of category [6]:

a) If

$$\begin{aligned} \llbracket next \rrbracket &: X \rightarrow X \\ \llbracket input \rrbracket &: X \rightarrow \mathcal{N} \times X^{\mathcal{N}} \\ \llbracket output \rrbracket &: \mathcal{N} \times (\mathcal{N} \times X) \\ \llbracket outputNew \rrbracket &: \mathcal{N} \times \delta X \end{aligned}$$

are the morphisms in category  $STATE$ , then

$$\begin{aligned} \text{dom} \llbracket next \rrbracket &= X & \text{cod} \llbracket next \rrbracket &= X \\ \text{dom} \llbracket input \rrbracket &= X & \text{cod} \llbracket input \rrbracket &= X \\ \text{dom} \llbracket output \rrbracket &= X & \text{cod} \llbracket output \rrbracket &= X \\ \text{dom} \llbracket outputNew \rrbracket &= X & \text{cod} \llbracket outputNew \rrbracket &= X \end{aligned}$$

domain and codomain of all the morphisms is set of states  $X$ .

- b) For each object  $X$  from the set of states  $X$  there is an identity morphism  $id_X$ .  
c) Transition functions  $\llbracket next \rrbracket$ ,  $\llbracket input \rrbracket$ ,  $\llbracket output \rrbracket$  a  $\llbracket outputNew \rrbracket$  keep the composition.

If there are morphisms

$$\begin{aligned} f(x) &= \llbracket next \rrbracket(x) = x' & g(x) &= \llbracket next \rrbracket(x') = x'' \\ i(x) &= \llbracket input \rrbracket(x, n) = n' \times x' & j(x) &= \llbracket input \rrbracket(x', n) = n' \times x'' \\ m(x) &= \llbracket output \rrbracket(x) = n \times n' \times x' & n(x) &= \llbracket output \rrbracket(x') = n \times n' \times x'' \\ p(x) &= \llbracket outputNew \rrbracket(x) = n \times x' & q(x) &= \llbracket outputNew \rrbracket(x') = n \times x'', \end{aligned}$$

then there are morphisms

$$\begin{aligned} (f \circ g)(x) &= x'' \\ (i \circ j)(x, n) &= n' \times x'' \\ (m \circ n)(x) &= n \times n' \times x'' \\ (p \circ q)(x) &= n \times x'', \end{aligned}$$

which are compositions of morphisms  $f$  and  $g$ ,  $i$  and  $j$ ,  $k$  and  $l$  and  $m$  and  $n$ .

- d) The morphism composition is associative, that means for morphisms

$$\begin{aligned} f(x) &= \llbracket next \rrbracket(x) = x' \\ g(x) &= \llbracket next \rrbracket(x') = x'' \\ h(x) &= \llbracket next \rrbracket(x'') = x''' \end{aligned}$$

applies:

$$f \circ (g \circ h) = (f \circ g) \circ h,$$

for morphisms

$$\begin{aligned} i(x) &= \llbracket input \rrbracket(x, n) = n' \times x' \\ j(x) &= \llbracket input \rrbracket(x', n) = n' \times x'' \\ k(x) &= \llbracket input \rrbracket(x'', n) = n' \times x''' \end{aligned}$$

applies:

$$i \circ (j \circ k) = (i \circ j) \circ k,$$

for morphisms

$$\begin{aligned} m(x) &= \llbracket output \rrbracket(x) = n \times n' \times x' \\ n(x) &= \llbracket output \rrbracket(x') = n \times n' \times x'' \\ o(x) &= \llbracket output \rrbracket(x'') = n \times n' \times x''' \end{aligned}$$

applies:

$$m \circ (n \circ o) = (m \circ n) \circ o$$

and for morphisms

$$\begin{aligned} p(x) &= \llbracket outputNew \rrbracket(x) = n \times x' \\ q(x) &= \llbracket outputNew \rrbracket(x') = n \times x'' \\ r(x) &= \llbracket outputNew \rrbracket(x'') = n \times x''' \end{aligned}$$

applies:

$$p \circ (q \circ r) = (p \circ q) \circ r.$$

- 4) We defined morphisms  $\llbracket next \rrbracket : X \rightarrow X$ ,  $\llbracket input \rrbracket : X \rightarrow \mathcal{N} \times X^{\mathcal{N}}$ ,  $\llbracket output \rrbracket : \mathcal{N} \times (\mathcal{N} \times X)$  and  $\llbracket outputNew \rrbracket : \mathcal{N} \times \delta X$  on the state category  $STATE$ . Polynomial endofunctor [7]  $F$  will be as follows:

$$F(X) = \mathcal{P}(X + \mathcal{N} \times X^{\mathcal{N}} + \mathcal{N} \times (\mathcal{N} \times X) + \mathcal{N} \times \delta X).$$

- 5) Coalgebra  $c$  for  $\pi$ -calculus is given by selectors  $\llbracket next \rrbracket$ ,  $\llbracket input \rrbracket$ ,  $\llbracket output \rrbracket$  and  $\llbracket outputNew \rrbracket$ , category  $STATE$  and a polynomial endofunctor  $F$ :

$$c = \langle \llbracket next \rrbracket, \llbracket input \rrbracket, \llbracket output \rrbracket, \llbracket outputNew \rrbracket \rangle : X \rightarrow F(X).$$

### Example

Based on the derivation of a coalgebra for the nondeterministic  $\pi$  - calculus system, we can write the interaction from the example II-B using morphisms and objects from the state category. The set of states will include the states of process executed by server as well as the states of process executed by client:

$$X = \{x_1^S, x_2^S, \dots, x_n^S, x_1^P, x_2^P, \dots, x_n^P\}.$$

States  $x_1^S - x_n^S$  are states of server and states  $x_1^P - x_n^P$  are states of client. Name set  $\mathcal{N}$  includes communication links and data transmitted by this links:

$$\mathcal{N} = \{a, b, c, d, \dots\}.$$

Initial states are  $x_1^S$  and  $x_1^P$ .

In a first step, the server sends to the client an object  $a$  that represents a communication connection with the printer using a communication link  $b$ . At the same time, the server-side process goes to the next state. We will express this operation with morphism  $\llbracket output \rrbracket$ :

$$\llbracket output \rrbracket(x_1^S) = b \times (a \times x_2^S).$$

The client-side process accepts this object, replaces the placeholder  $c$  with it, and also moves to the following state:

$$\llbracket input \rrbracket(x_1^P, c) = b \times x_2^P.$$

At this point, the client already has a communication connection with the printer  $c$ , so it can send data  $d$  to it:

$$\llbracket output \rrbracket(x_2^P) = c(d \times x_3^P).$$

## IV. CONCLUSION

The essence of  $\pi$  - calculus is the synchronization of concurrently performed processes. Using a  $\pi$  - calculus, we can model the inter-process communication so that access to program modules is controlled. In the example II-B, we demonstrated controlled access to the printer, where the server and the client forward the communication link so that only one process can access the printer at the time.

Controlled access is also important when writing to shared memory. This communication, as well as many other process-to-process communications, can be expressed using  $\pi$  - calculus.

In this paper we constructed a coalgebra of cocurrent processes. This model enables to observe a behavior of these processes that can lead to increasing of reliability of such software products.

## ACKNOWLEDGMENT

*This work has been supported in the frame of the project Semantic Technologies for Computer Science Education (SemTech) by the Slovak Research and Development Agency under the contract No. SK-AT-2017-0012 respectively by the Austrian OeAD under the WTZ contract SK 14/2018, as well as by the Linz Institute of Technology (LIT), Project LOGTECHEDU Logic Technology for Computer Science Education.*

## REFERENCES

- [1] J. Parrow, *An Introduction to the pi-Calculus*. Royal Institute of Technology, Stockholm, 2015.
- [2] E. M. M. Fiore and D. Sangiorgi, *A fully abstract model for the pi-calculus*. IEEE Press, Los Alamitos, CA, 1996.
- [3] I. Stark, *A fully abstract domain model for the pi-calculus*. IEEE Press, Los Alamitos, CA, 1996.
- [4] A. K. Corina Cirstea and D. Pattinson, *Modal Logics are Coalgebraic*. The Computer Journal, 1 2011.
- [5] B. M. H. Ehrig, *Fundamentals of Algebraic Specification 1: Equations and Initial Semantics*. 1st Edition, Springer Publishing Company, Inc., 2011.
- [6] M. Barr and C. Wells, *Category Theory for Computing Science*. 2nd Edition, Prentice Hall, 1995.
- [7] J. Kock, *Notes on polynomial functors*. Tech. rep., Universitat Autònoma de Barcelona, 2007.

# Porovnanie špirálových antén pracujúcich na 2,4GHz, 5,2GHz a 9,2GHz pre experimentálny FSO/RF systém

<sup>1</sup>Michal MÁRTON, <sup>2</sup>Luboš OVSEŇÍK, <sup>3</sup>Ján TURÁN, <sup>4</sup>Michal ŠPES, <sup>5</sup>Jakub URBANSKÝ.

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

<sup>4,5</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, <sup>5</sup>jakub.urbansky@tuke.sk

**Abstrakt** — Komunikačné technológie majú dominantný vplyv na ľudské životy. Tieto technológie nás obklopujú aj v osobnom aj profesionálnom živote. Digitalizácia určuje trend vo všetkých týchto oblastiach. Komunikačné technológie uľahčujú plnenie našich úloh v profesionálnych oblastiach a otvárajú dvere k novým možnostiam trávenia voľného času. Zodpovednosť, ktorá bola na človeku, je dnes priamo na koncových zariadeniach. Rozšírenie týchto technológií je tak významné, že má tiež negatívny vplyv na ľudské životy. V mnohých prípadoch sme otrokmi technológií. Požiadavky užívateľov na dostupnosť komunikačných technológií stále rastú a my musíme ponúknuť riešenie. Komunikačné systémy s optickými vláknami vytvárajú chrbticu vysokorýchlostných komunikačných systémov. My sa však zameriavame na využívanie optických komunikačných systémov bez potreby využitia optického vlákna. Systémy umožňujúce prenos bez využitia optických vlákien (FSO) ponúkajú porovnateľné prenosové rýchlosti ako štandardné vláknové optické komunikačné systémy. Hlavnou nevýhodou technológií FSO je citlivosť na zmeny počasia, preto musíme navrhnúť vhodné rádiofrekvenčné (RF) záložné prepojenie. Cieľom tohto článku je analýza vhodného typu špirálovej antény. Navrhli sme tri modely wpirálových antén pracujúcich na troch rôznych frekvenciách z nelicencovaného frekvenčného rozsahu.

**Kľúčové slová** — FEKO, FSO/RF hybridný systém, špirálová anténa

## I. ÚVOD

Rozšírenie komunikačných systémov v posledných rokoch dosiahlo neuveriteľné rozmery. Zariadenia navrhnuté a používané v minulosti nevyžadovali možnosť komunikovať s inými zariadeniami. Boli navrhnuté iba za účelom ich primárnej funkcie. Tieto zariadenia však ponúkajú nové možnosti ako komunikácia s ostatnými zariadeniami a poskytujú tiež nové typy služieb. Tieto zariadenia sú nazývané ako inteligentné zariadenia. Každé z týchto zariadení má určité požiadavky na prístup k komunikačnej sieti. V prípade, že sú tieto inteligentné zariadenia implementované v domácnosti a sú pripojené do lokálnej siete, umožňujú vytvárať inteligentnú domácnosť. Tento masívny dátový tok môže byť prenášaný cez optické siete s fyzickou infraštruktúrou. V špeciálnom prípade, keď chýba fyzická infraštruktúra a chceme vytvoriť spojenie medzi dvoma bodmi, zvolíme technológiu prenosu optických lúčov prostredníctvom voľného prostredia nazývaného ako FSO (Free Space Optics). Tento systém ponúka mnoho výhod - vysokú úroveň bezpečnosti, vysoké prenosové rýchlosti porovnateľné so štandardnými optickými vláknovými systémami, krátku dobu implementácie atď. Toto riešenie je vhodné pre núdzové siete, ktoré sa musia realizovať v krátkom čase. Kvalita prijatých optických lúčov závisí od aktuálneho počasia. Prenášané optické lúče interferujú s časticami vody v atmosfére. Koncentrácia vodných častíc je pre každý typ počasia odlišná. Typ počasia so zvýšenou koncentráciou častíc vody je hmla, sneh, hustá hmla a dážď. V prípade týchto nepriaznivých poveternostných podmienok môže byť prenos realizovaný, ak maximálny útlm neprekrova hodnotu -25 dB. V prípade, že sa táto hodnota útlmu prekrýva, musí sa prepnúť primárne optické spojenie a komunikácia sa realizuje prostredníctvom rádiofrekvenčnej (RF) záložnej linky.

Systém FSO nie je licencovaný, pretože pôsobí v troch optických oknách s vlnovou dĺžkou 850 nm, 1310 nm a 1550 nm. Pre účel analýzy možnosti rozšírenia nášho systému boli zvolené tri prevádzkové frekvencie: 2,4 GHz, 5,2 GHz a 9,2 GHz. Tieto nelicencované frekvencie sú ohraničené hodnotami maximálneho vyžarovaného výkonu.

Náš predchádzajúci výskum bol zameraný na analýzu dopadu zmien počasia na kvalitu prijatého optického výkonu a minimalizáciu výpadkov. Navrhli sme spôsob merania signálových parametrov počasia kombinovaný s

hodnotami prijatého optického výkonu. Tieto údaje sa monitorujú a na základe ich formy sa realizuje prepínanie medzi primárnym a sekundárnym spojením. [1-4].

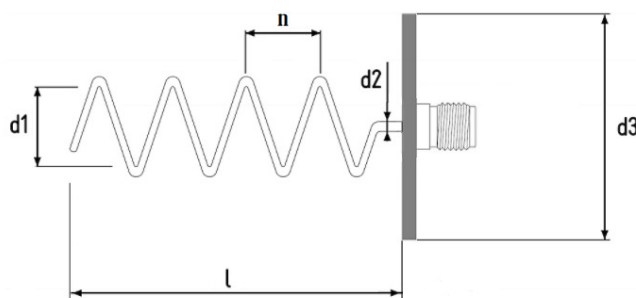
## II. NÁVRH ŠPIRÁLOVÝCH ANTÉN

Vypočítané rozmery špirálových antén sú uvedené v tabuľke 1. Tieto hodnoty boli dosiahnuté pomocou výpočtov. Tabuľka 1 obsahuje hodnoty pre tri modelované antény. Prvá modelovaná anténa, označovaná ako "Anténa č.1", pracuje na frekvencii 2,4 GHz. Druhá modelová anténa označovaná ako "Anténa č.2" pracuje na frekvencii 5,2 GHz. Tretia modelová anténa, označovaná ako "Anténa č.3", pracuje na frekvencii 9,2 GHz.

Tabuľka 1 Parametre navrhnutých antén

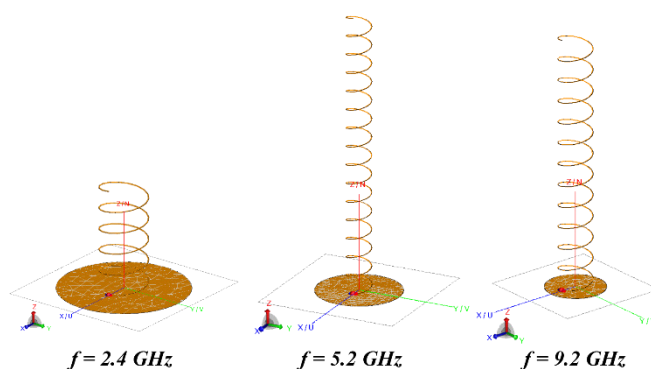
| Označenie | Parameter              | Anténa č.1 | Anténa č.2 | Anténa č.3 |
|-----------|------------------------|------------|------------|------------|
| $d1$      | Priemer špirály        | 4.4 cm     | 1.942 cm   | 1.14 cm    |
| $d2$      | Priemer vodiča špirály | 0.12 cm    | 0.02 cm    | 0.012 cm   |
| $d3$      | Priemer reflektora     | 12 cm      | 6.346 cm   | 2 cm       |
| $N$       | Počet závitov          | 5          | 15         | 12         |
| $l$       | Celková dĺžka špirály  | 10.2 cm    | 21.635 cm  | 9 cm       |
| $f$       | Frekvencia             | 2.4 GHz    | 5.2 GHz    | 9.2 GHz    |

Parametre navrhnutej špirálovej antény uvedené v Tabuľke 1 sú zobrazené v Obr. 1, pričom rozmery antény boli získané výpočtom. Pri uvažovaní nami zvolených parametrov by bolo možné získať zisk modelovanej špirálovej antény v okolí 12dBi.



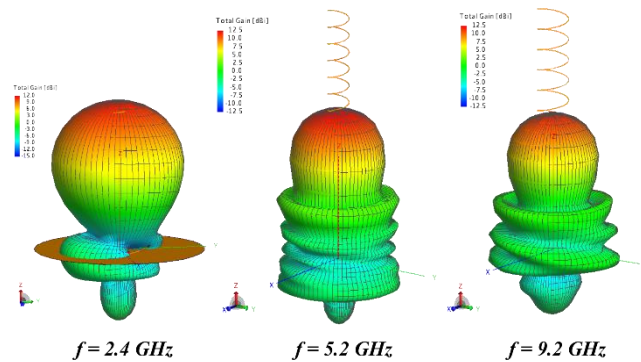
Obr. 1 Parametre modelovanej špirálovej antény

Model navrhnutej špirálovej antény je zobrazený na Obr. 2, pričom obrázok pochádza z návrhového prostredia CAD FEKO určeného na modelovanie antény a ich analýzu. Na základe parametrov antény bol vytvorený tento model, ktorého napájanie uvažujeme prostredníctvom SMA konektoru s impedančným prispôbením  $50\Omega$ .



Obr. 2 Navrhnuté modely špirálových antén

Vyžarovacie charakteristiky navrhnutých antén sú zobrazené na Obr. 3 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. Maximálna hodnota okolo 12dBi korešponduje s hodnotou získanou výpočtom pre maximálny zisk navrhnutej antény.



Obr. 3 Vyžarovacia charakteristika navrhutej antény pre frekvenciu 2,4GHz

Prehľad hodnôt ziskov získaných prostredníctvom simulácií je zobrazený v tabuľke 2.

Tabuľka 2 Dosiahnuté hodnoty zisku špirálovej antény

| Označenie  | Hodnota zisku | Hodnota zisku [dBi] |
|------------|---------------|---------------------|
| Anténa č.1 | 13.4838       | 11.2981             |
| Anténa č.2 | 17.6771       | 12.4741             |
| Anténa č.3 | 14.5686       | 11.6342             |

Prehľad ostatných získaných hodnôt simulovaných antén je uvedený v tabuľke 3. Sú tam uvedené hodnoty zmien vyžarovacích uhlov pri poklese výkonu o 3dB v smere  $\Phi = 0^\circ$  a  $\Phi = 90^\circ$  označených ako HPBW (Half Power Beam Width). V tejto tabuľke sú tiež uvedené hodnoty maximálneho vyžiareného výkonu v dvoch jednotkách a tiež pomer postranného vyžarovania označeného ako SLL (Side Lobe Level).

Tabuľka 3 Ďalšie parametre referenčnej špirálovej antény

| Parameter                | Anténa č.1 | Anténa č.2 | Anténa č.3 |
|--------------------------|------------|------------|------------|
| HPBW - $\Phi = 0^\circ$  | 51.3641    | 36.0697    | 39.6621    |
| HPBW - $\Phi = 90^\circ$ | 49.7863    | 35.9736    | 39.6074    |
| Výkon [mW]               | 3.86162    | 2.802      | 1.7907     |
| Výkon [dBW]              | -24.1323   | -25.53     | -27.47     |
| SLL [dB]                 | 13.8557    | 10.5566    | 10.4708    |

### III. ZÁVER

Hlavným bodom tejto príspevku je porovnanie troch rôznych špirálových antén pracujúcich na 3 rôznych frekvenciách z nelicencovaného frekvenčného pásma. Dosiahnuté hodnoty z tabuľky 2 a tabuľky 3 ukazujú rozdiel medzi modelovanými anténami. Z hľadiska vysokej úrovne zosilnenia dosiahla najlepší výsledok špirálová anténa, ktorá pracuje na 5,2 GHz s 15 závitmi a výsledným ziskom 12,4741 dBi. Z hľadiska nízkej úrovne antény vyžiareného výkonu dosiahla anténa, ktorá pracuje na 9,2 GHz s 12 závitmi a výsledným výkonom 1,7907mW (-27,47dBW). Z pohľadu šírky vyžarovacieho uhla antény dosiahla anténa, ktorá pracuje na frekvencii 5,2 GHz s výsledným uhlom  $36,0697^\circ$  pre  $\Phi = 0^\circ$  a  $35,9736^\circ$  pre  $\Phi = 90^\circ$ .

### POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná projektom VEGA 1/0772/17, KEGA 023TUKE-4/2017 a APVV-17-0208.

### LITERATÚRA

- [1] M. Márton, E. Ovseník, M. Špes, "Measurement effect of visibility in experimental FSO system" In: *Informatics 2017*. - Danvers: IEEE, p. 249-252. - ISBN 978-1-5386-0888-3, 2017
- [2] M. Márton, E. Ovseník, J. Turán, M. Špes, "Design and analysis of microstrip antenna for 2.46GHz in Program Suite FEKO" In: *Carpathian Journal of Electronic and Computer Engineering*. Vol. 10, no. 1, p. 31-34, ISSN 1844 – 9689, 2017
- [3] M. Márton, E. Ovseník, J. Turán, M. Špes, "Design of antenna in program environment FEKO" In: *Annals of Faculty Engineering Hunedoara - International Journal of Engineering*. Vol. 15, no. 1, p. 169-174. - ISSN 1584-2665, 2017
- [4] M. Márton, E. Ovseník, J. Turán, M. Špes, "Design of helix antenna for 2.4GHz applicable in FSORF hybrid system" In: *MIPRO 2018*, Rijeka, p. 469-472., ISBN 978-953-233-096-0 2018

# Rozloženie elektromagnetického poľa v okolí transformátora

*Ján PRESADA, Dušan MEDVEĎ*

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita  
v Košiciach, Slovenská republika

jan.presada@student.tuke.sk, dusan.medved@tuke.sk

**Abstrakt** — Tento článok sa venuje rozloženiu elektromagnetického poľa v okolí transformátora. Transformátor je zariadenie, ktoré sa umiestňuje v bezpečnej vzdialenosti, teda je bežne umiestnené aj v okolí obydli. Väčšina obyvateľov si ale neuvedomuje, že toto zariadenie môže mať negatívne účinky pre ich organizmus. Preto účely tohto príspevku, bolo zisťované a preskúmané rozloženie magnetického a elektrického poľa v okolí transformátora, pomocou špecializovaného softvéru.

**KLúčové slová** — ANSYS, elektromagnetické pole, intenzita elektrického poľa, magnetická indukcia

## I. ÚVOD

Elektromagnetické pole je zložené z elektrického a magnetického poľa, ktoré sú navzájom prepojené. Elektrické polia sú tvorené rozdielmi v napätí, čím vyššie napätie, tým silnejšie bude výsledné pole. Magnetické polia vznikajú pri prúde elektrického prúdu: čím väčší je prúd, tým silnejšie je magnetické pole. Elektrické pole bude existovať aj vtedy, keď nebude prúdiť prúd. Ak prúd prúdi, intenzita magnetického poľa sa bude líšiť podľa toku energie, ale intenzita elektrického poľa bude konštantná. Elektromagnetické polia sú prítomné všade v našom prostredí, ale pre ľudské oko sú väčšinou neviditeľné. Elektrické polia sú vytvárané lokálnym hromadením elektrických nábojov v atmosfére spojenej napr. s búrkami. Magnetické pole Zeme spôsobuje, že ihla kompasu sa orientuje v smere sever-juh a používajú ju na navigáciu vtáky a ryby. Okrem prírodných zdrojov zahŕňajú elektromagnetické spektrum aj polia vytvorené ľudskými zdrojmi: röntgenové lúče sa používajú na diagnostiku zlomenej končatiny po športovej nehode. Elektrická energia, ktorá prichádza z každej zásuvky, má prepojené nízkofrekvenčné elektromagnetické polia. Na prenos informácií sa používajú rôzne druhy vysokofrekvenčných rádiových vln, či už prostredníctvom televíznych antén, rádiových staníc alebo základňových staníc mobilných telefónov.

## II. VZNIK ELEKTROMAGNETICKÝCH POLÍ

Jednosmerné elektrické pole je vytvorené rozdielom potenciálov napríklad medzi dvomi doskami s rozdielnym elektrickým potenciálom a statické magnetické pole sa vytvára v okolí permanentných magnetov alebo v blízkosti elektrických vodičov, ktorými pretekajú jednosmerné prúdy. Striedavé elektrické a magnetické pole v prostredí sa vytvorí v okolí elektrických zariadení, ktorými pretekajú striedavé prúdy napr. takými zariadeniami sú transformátory, tlmivky a podobne.

Elektromagnetické striedavé polia v prostredí sú vytvorené elektromagnetickými vlnami s rôznymi vlnovými dĺžkami a sú dané veľkosťou a smerom elektrickej a magnetickej zložky. V prípade, že vektory elektrickej a magnetickej zložky poľa sú navzájom kolmé a ležia v rovine kolmej na smer šírenia vlny, hovoríme o rovinnnej vlne.

Z pohľadu vzdialenosti od zdroja, pri šírení a posudzovaní elektromagnetických polí, sa delí priestor na dve oblasti:

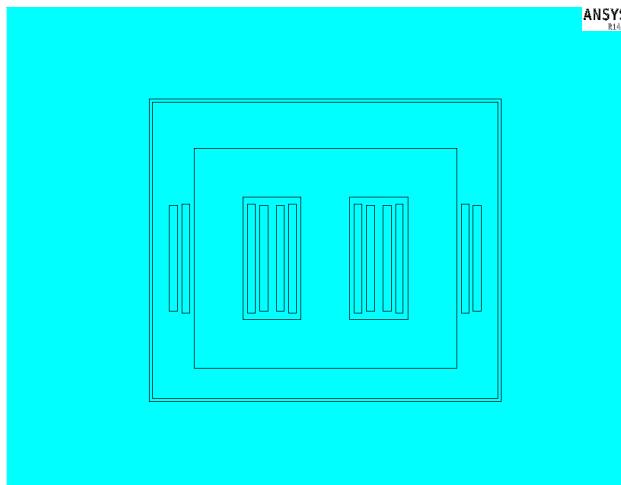
1. oblasť blízkeho poľa
2. oblasť vzdialeného poľa

Oblasť blízkeho poľa sa nachádza do vzdialenosti 3-násobku vlnovej dĺžky a v tejto oblasti sa vyhodnocuje samostatne elektrická a magnetická zložka poľa, pretože jednotlivé zložky poľa nie sú vzájomne prepojené. [1]



### III. ROZLOŽENIE ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA V OKOLÍ TRANSFORMÁTORA

Transformátory sú elektrické zariadenia pozostávajúce z dvoch alebo viacerých vinutí, ktoré sa používajú na transformáciu parametrov elektrickej energie ( $U$ ,  $I$ ) prostredníctvom meniaceho sa magnetického poľa. Patria medzi najdôležitejšie zariadenia prenosovej a distribučnej sústavy. Skladajú sa z magnetického jadra, primárneho a sekundárneho vinutia. Simulácie boli zamerané na trojfázový transformátor, ktorého rez je uvedený na Obr. 1 (bol využitý nástroj ANSYS, APDL). Načrtnúť geometriu skutočného transformátora by bolo obťažné a komplikované, preto bol využitý zjednodušený 2D model.



Obr. 1 Model transformátora

Jedná sa o trojfázový transformátor chladený olejom so zdanlivým výkonom 150 kVA, s hodnotou primárneho vinutia  $U_1 = 10\,500$  V a s hodnotou sekundárneho vinutia  $U_2 = 400$  V. Veľkosť prúdu na primárnom vinutí je  $I_1 = 8,24$  A a na sekundárnom vinutí je  $I_2 = 217,4$  A. Počet závitov na vysokonapäťovej strane je 1150 a na nízkonapäťovej strane 26. Z jednotlivých parametrov boli vypočítané potrebné hodnoty veličín, ktoré sú nevyhnutné pri simulácii.

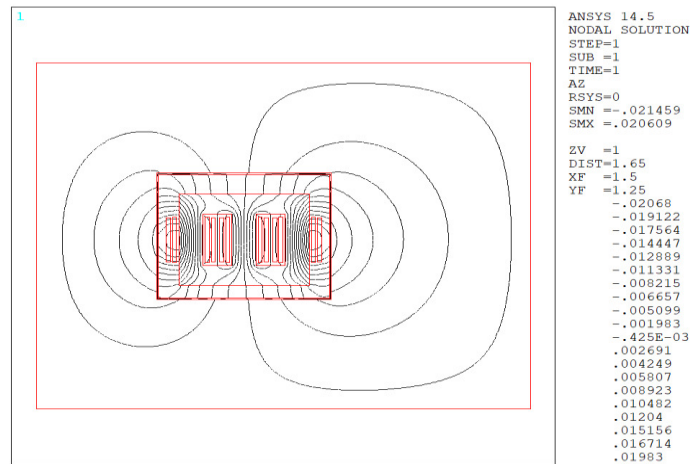
#### A. Magnetické pole

Pri simulácii magnetického poľa v okolí transformátora bolo potrebné zadať hodnoty relatívnych permeabilit jednotlivých materiálov, ktoré sú uvedené v (Tab. 1). Následne, po vytvorení geometrie a sieťovania, bolo potrebné vypočítať hustotu prúdu  $J$ , ktorá bola získaná z údajov prúdov a závitov, uvedených vyššie. Hodnoty hustôt prúdov, ktoré boli určené výpočtom, sú nasledovné: pre primárne vinutie  $J_1 = 1\,200\,000$  A/m<sup>2</sup> a pre sekundárne vinutie  $J_2 = 747\,000$  A/m<sup>2</sup>. Tieto hodnoty boli zadané do programu na jednotlivých vinutiach. Posledným krokom bol výpočet a vyhodnotenie rozloženia magnetického poľa.

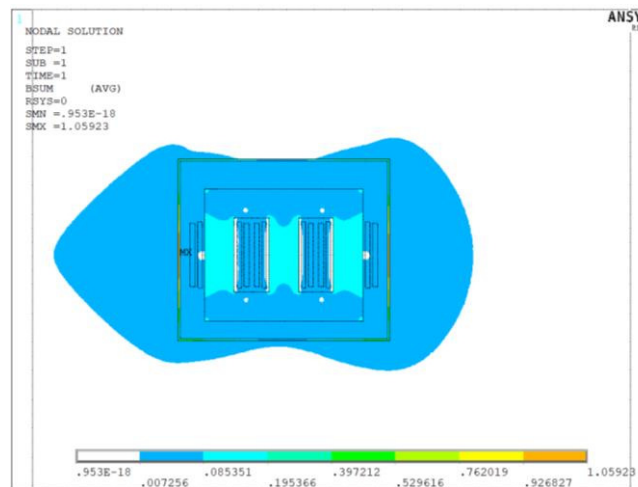
TABUĽKA 1  
Hodnoty relatívnych permeabilit jednotlivých materiálov

| Materiály              | Relatívna permeabilita $\mu_r$ (-) |
|------------------------|------------------------------------|
| Vzduch                 | 1,05                               |
| Transformátorový plech | 3000                               |
| Hliník                 | 1,00002                            |
| Kryt transformátora    | 50                                 |
| Transformátorový olej  | 1                                  |

Program ANSYS umožňuje vykresliť aj rozloženie magnetických siločiar. Magnetické siločiaru umožňujú určiť smer a hustotu silového pôsobenia v jednotlivých bodoch. Ich rozloženie je znázornené na Obr. 2. Z obrázka je možné vidieť, že väčšina siločiar sa uzatvára vo vnútornej časti transformátora. Zvyšné čiary pôsobia v okolí modelu, kde sa vzdialenosťou stráca ich hustota. Ďalší obrázok predstavuje rozloženie magnetickej indukcie  $B$ .

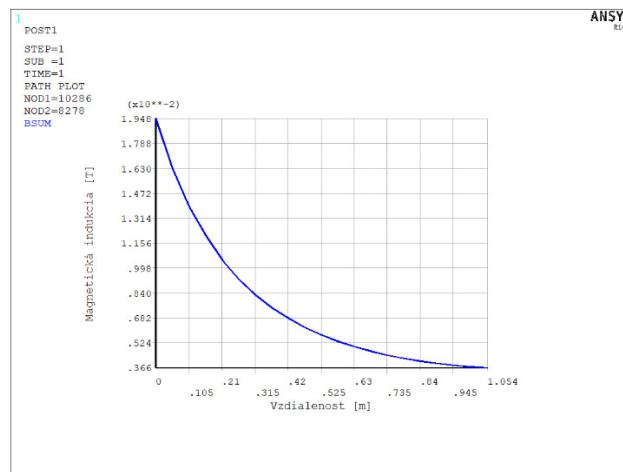


Obr. 2 Magnetické siločiar



Obr. 3 Rozloženie magnetickej indukcie

Rozloženie magnetickej indukcie korešponduje tvaru a hustote siločiar. Najvyššiu dovolenú hodnotu magnetickej indukcie v okolí zdroja elektromagnetického žiarenia ustanovuje Vyhláška MZ SR 534/2007. Z.z. Z tejto vyhlášky vyplýva, že povolená hodnota magnetickej indukcie pri frekvencii zdroja 50 Hz je  $100 \mu\text{T}$ . Zo simulácie je viditeľné, že táto limitná hodnota je v okolí transformátora niekoľkonásobne prekročená. Najvyššia hodnota indukcie je v okolí transformátorových plechov (a na nádobe) s hodnotou okolo 1 T, táto hodnota rapídne klesá v závislosti od vzdialenosti od modelu transformátora. Táto závislosť je viditeľnejšia na grafe, ktorý bol vytvorený pomocou úsečky. Začiatok úsečky je na pravej strane modelu, tesne za krytom transformátora a pokračuje horizontálne, do vzdialenosti približne jedného metra od modelu.



Obr. 4 Závislosť magnetickej indukcie od vzdialenosti

Z grafickej závislosti na Obr. 4 je vidieť, že najvyššia hodnota magnetickej indukcie je v tesnej blízkosti krytu transformátora s hodnotou  $19480 \mu\text{T}$ . V približne metrovej vzdialenosti,

je už táto hodnota asi päťnásobne nižšia. Napriek tomu, že magnetická indukcia klesá so zvyšujúcou sa vzdialenosťou, v okolí modelu do vzdialenosti jedného metra (podľa vyhlášky 534/2007 Z.z.), nie je bezpečné sa približovať pre človeka, keďže najnižšia hodnota v grafe má hodnotu 3 660  $\mu\text{T}$  a limitná hodnota podľa tejto vyhlášky je 100  $\mu\text{T}$ . Na zamestnanca, vyskytujúceho sa na pracovisku v okolí elektromagnetického poľa, sa vzťahuje Nariadenie vlády SR 209/2016, ktorého limitné hodnoty magnetického poľa sú oveľa vyššie, ako vo Vyhláške č. 534/2007. Nariadenie vlády SR č. 209/2016 udáva 3 rôzne limitné hodnoty indukcie, v závislosti od účinkov elektromagnetického poľa na jednotlivé časti organizmu. V tomto prípade, boli výsledky simulácií zamerané na strednú limitnú hodnotu magnetickej indukcie  $B_{a,h}$ , ktorej veľkosť je od 500 do 6000  $\mu\text{T}$ . Pri pôsobení magnetickej indukcie v tomto rozmedzí môže dôjsť k dočasnej zmene v mozgovej činnosti. Zamestnanec by v tomto prípade mohol v okolí transformátora pracovať v blízkosti cca 0,5 metra. [2], [3]

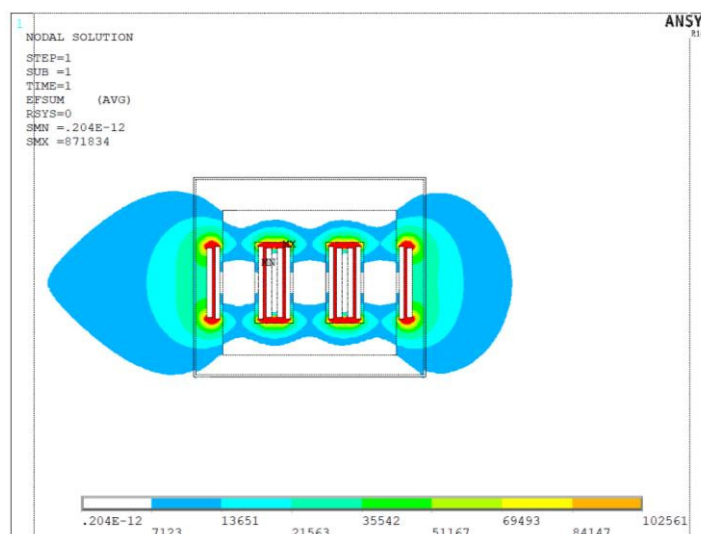
### B. Elektrické pole

Pri zisťovaní rozloženia elektromagnetického poľa pomocou programu ANSYS, je potrebné zadať hodnoty relatívnych permitívít jednotlivých materiálov. Tieto hodnoty sú uvedené v Tab. 2. Po vytvorení geometrie a sieťovania boli zadané hodnoty napätí na jednotlivé vinutia. Na primárne vinutia boli nastavené hodnoty 10 500 V a na sekundárne vinutia 400 V. Posledným krokom bol výpočet a vyhodnotenie rozloženia elektrického poľa.

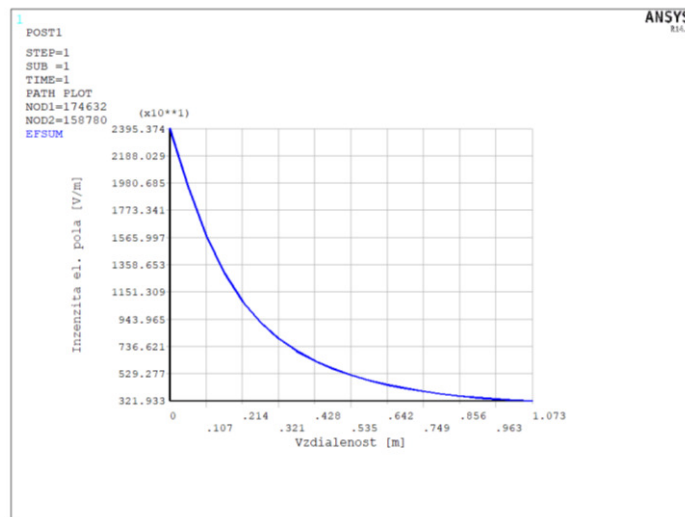
TABULKA 2  
 Hodnoty relatívnych permitívít jednotlivých materiálov

| Materiály              | Relatívna permitivita $\epsilon_r$ (-) |
|------------------------|--|
| Vzduch                 | 1,0006                                 |
| Transformátorový plech | 1,9                                    |
| Hliník                 | 3,5                                    |
| Kryt transformátora    | 1,9                                    |
| Transformátorový olej  | 2,1                                    |

Na Obr. 5 je už viditeľnejšie rozloženie intenzity aj v okolí transformátora. Červená farba sa v legende nenachádza, no napriek tomu označuje maximálnu hodnotu intenzity, ktorej veľkosť je 871 834 V/m (tesne nad vinutiami vn). Najvyššiu dovolenú hodnotu magnetickej indukcie, v okolí zdroja elektromagnetického žiarenia, ustanovuje Vyhláška MZ SR č. 534/2007 Z.z. Z tejto vyhlášky vyplýva, že povolená hodnota intenzity elektrického poľa pri frekvencii siete 50 Hz je 5 000 V/m. Zo simulácie je viditeľné, že táto limitná hodnota je na modeli transformátora niekoľkonásobne prekročená. Najvyššia intenzita sa nachádza medzi vinutiami a jej hodnota klesá so štvorcovou vzdialenosťou od zdroja tohto poľa. Z daného rozloženia elektrického poľa bol pomocou úsečky vytvorený graf, keďže limitná hodnota intenzity elektrického poľa v okolí zariadenia je 5 000 V/m, a z obrázku nebolo možné určiť jej približnú hranicu. Začiatok úsečky je na pravej strane modelu, tesne za krytom transformátora a pokračuje horizontálne do vzdialenosti približne jedného metra od modelu.



Obr. 5 Rozloženie intenzity elektrického poľa



Obr. 6 Závislosť intenzity elektrického poľa od vzdialenosti

Z grafickej závislosti na Obr.6 je vidieť, že najvyššia hodnota intenzity elektrického poľa je v tesnej blízkosti krytu transformátora s hodnotou 23 953,74 V/m. Elektrická intenzita v okolí transformátora prudko klesá, pričom už vo vzdialenosti cca 0,6 m je jej hodnota bezpečná pre človeka, čo vyplýva z Vyhlášky č. 534/2007, ktorá ustanovuje limitnú hodnotu intenzity elektrického poľa na 5 000 V/m. Ako bolo uvedené pre magnetické pole, na zamestnanca vyskytujúceho sa na pracovisku v okolí elektromagnetického poľa sa vzťahuje Nariadenia vlády SR 209/2016, ktorého limitné hodnoty magnetického poľa sú oveľa vyššie, ako vo Vyhláške č. 534/2007. Nariadenie vlády SR 209/2016 uvádza 2 rôzne limitné hodnoty intenzity  $E$ , v závislosti od účinkov elektromagnetického poľa na jednotlivé časti organizmu. V tomto prípade boli výsledky zamerané na strednú limitnú hodnotu intenzity elektrického poľa  $E_{a,d}$ , ktorej veľkosť je do 10 000 V/m. Pri pôsobení intenzity v tomto rozmedzí môže dôjsť k dočasnej zmene v mozgovej činnosti. Zamestnanec by v tomto prípade mohol v okolí transformátora pracovať v blízkosti cca 0,2 metra.

#### IV. ZÁVER

Cieľom tohto článku bolo prezentovať výsledky rozloženie elektromagnetického poľa v okolí transformátora. V článku sú uvedené výstupy z programu Ansys, pomocou ktorých boli určené hodnoty magnetickej indukcie  $B$  a intenzity elektrického poľa  $E$ . Výsledné hodnoty indukcie a intenzity boli vysoké a preto zo simulácií obťažné odčítať limitné hodnoty, ktoré boli porovnávané s Vyhláškou MZ SR č. 534/2007 a Nariadením vlády SR č. 209/2016. Na základe toho boli vytvorené grafické závislosti, z ktorých bolo jednoduchšie odčítať požadované hodnoty. Porovnaním limitných a odčítaných hodnôt z grafu s Vyhláškou MZ SR č. 534/2007 vyplýva, že nie je vhodné, aby sa živé organizmy zdržiavali v blízkosti tohto transformátora. Porovnaním limitných a odčítaných hodnôt z grafu s nariadením vlády SR č. 209/2016 vyplýva, že zamestnanci vyskytujúci sa v blízkosti takéhoto zariadenia na pracovisku, sa môžu zdržiavať v jeho blízkosti, ale obmedzený čas alebo v dostatočnej vzdialenosti. Preto, simulovaný transformátor by mal byť umiestnený v trafostanici alebo je uložený v bezpečnej výške cca 4 m nad zemou. Tieto uloženia by mali dostatočne obmedziť vplyv elektromagnetického poľa na obyvateľov.

#### POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR a SAV podporenej grantom VEGA 1/0372/18, VEGA 1/0435/19 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.



#### LITERATÚRA

- [1] Drahoš, R., „*Elektromagnetické polia v priemysle*“, [online]. [cit. 2019-04-19], Dostupné na internete: <<http://www.dZr.sk/texty/elektromagneticke%20polia%20v%20priemysle.pdf>>
- [2] Nariadenie vlády SR č. 209/2016 Z. z. Nariadenie vlády Slovenskej republiky z 01.07.2016 o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou elektromagnetickému poľu.
- [3] Vyhláška MZ SR č. 534/2007 Zb. Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky zo 16. augusta 2007 o podrobnostiach o požiadavkách na zdroje elektromagnetického žiarenia a na limity expozície obyvateľov elektromagnetickému žiareniu v životnom prostredí.
- [4] Presada, J., „*Posudzovanie vplyvu elektromagnetického poľa v okolí silových zariadení*“. Bakalárska práca. Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2019.

# Elektromagnetické pole v okolí vybraných zariadení v domácnosti

Vladimír HLUŠKA, Dušan MEDVEĎ

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

vladimir.hluska@student.tuke.sk, dusan.medved@tuke.sk

**Abstrakt** — Tento príspevok sa zaoberá rozložením elektromagnetického poľa v okolí elektrického mlynčeka na kávu a jeho vplyvu na okolie. Určenie rozloženia elektromagnetického poľa v okolí zariadenia je v tomto príspevku realizované meraním a simuláciou. Meranie bolo vykonané osobitne pre magnetickú indukciu a pre intenzitu elektrického poľa. V oboch prípadoch bol použitý osobitný merací prístroj na to určený. Simulácia modelovej situácie bola realizovaná pomocou programu ANSYS. Výsledné hodnoty získané simuláciou a meraním boli porovnané s dovolenými hodnotami podľa vyhlášky Ministerstva zdravotníctva. Je dôležité poznať vplyv elektrického zariadenia na okolie a na ostatné zariadenia z dôvodu bezpečného používania. Vplyvom elektromagnetického poľa na človeka môže dôjsť k poškodeniu zdravia. Možnosti na ochranu zdravia pri používaní týchto elektrických zariadení je dodržiavanie dostatočnej vzdialenosti od zariadenia, použitie elektricky alebo magneticky tieniacich materiálov alebo obmedzený čas používania zariadenia.

**Kľúčové slová** — intenzita elektrického poľa, magnetická indukcia, ANSYS, elektromagnetické pole

## I. ÚVOD

Elektromagnetické pole je súčasťou nášho života a je všade okolo nás. Aj keď ho nevidíme, obklopuje nás a môžeme ho pozorovať svojim pôsobením. Elektromagnetické pole je zložené z magnetického a elektrického poľa, ktoré sa navzájom ovplyvňujú. S rozvojom elektrotechniky a moderného sveta sa čoraz častejšie vyskytujú zariadenia, ktoré sú zdrojom tohto poľa. Takéto zariadenia sa nachádzajú v každej domácnosti. Sú to domáce spotrebiče. Nemyslíme si, že v minulosti, kedy elektrická energia a elektrické zariadenia neexistovali, nebolo ani elektromagnetické pole. Toto pole sa vyskytuje aj v prírode. Jeho zdrojmi môžu byť procesy, ako napríklad slnečná aktivita, magnetické pole zeme, ale aj kozmické žiarenie.

Keďže je rozvoj elektrotechniky a elektrických spotrebičov značný je potrebné sa zaoberať týmto poľom čoraz viac. Je dôležité poznať jeho účinky na ľudský organizmus. Zaoberať sa možnosťami ako pôsobenie tohto poľa znížiť, ako ho obmedziť, ako sa pred ním chrániť. Elektromagnetickým poľom sa zaoberajú dve svetové inštitúcie a to WHO (Svetová zdravotnícka organizácia) a ICNIRP (Medzinárodná komisia pre ochranu pred neionizujúcim žiarením).

## II. ZDROJE ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA

Základná charakteristika, podľa ktorej rozdeľujeme elektromagnetické pole, je frekvencia a vlnová dĺžka. Polia s rozličnou frekvenciou pôsobia na človeka rôzne. Tieto polia môžeme rozdeliť na:

- polia s extrémne nízkou frekvenciou (ELF) do 300 Hz
- stredne frekvenčné polia (IF) s frekvenciou od 300 Hz do 10 MHz
- rádiovlnové polia (RF) od 10 MHz do 300 GHz

Hlavnými zdrojmi ELF sú elektrické spotrebiče v domácnosti. Zariadenia, ako sú počítačové obrazovky, bezpečnostné systémy alebo zariadenia proti krádeži, sú hlavnými zdrojmi IF polí. RF polia v domácnosti vyvolávajú mikrovlnové rúry, rádiové, televízne a mobilné antény. Vysokofrekvenčné polia tvoria základ telekomunikácií a používajú sa na prenos informácií na veľké vzdialenosti, ako napríklad televízne vysielanie.

### III. ELEKTROMAGNETICKÉ POLE V OKOLÍ ELEKTRICKÉHO MLYNČEKA NA KÁVU

Elektrický mlynček na kávu sa vyskytuje v domácnostiach čoraz častejšie. A z toho dôvodu je dobré si položiť otázku, či je toto zariadenie bezpečné, či vplýva na naše zdravie.

V tomto príspevku sú uvedené výsledky rozloženia elektromagnetického poľa, ktoré boli získané meraním a simuláciou. Meranie a simulácia bola vykonaná na elektrickom nerezovom mlynčeku na kávu značky Delonghi KG89, ktorého príkon je 110 W.

TABUĽKA 1  
Namerané hodnoty v okolí mlynčeka na kávu

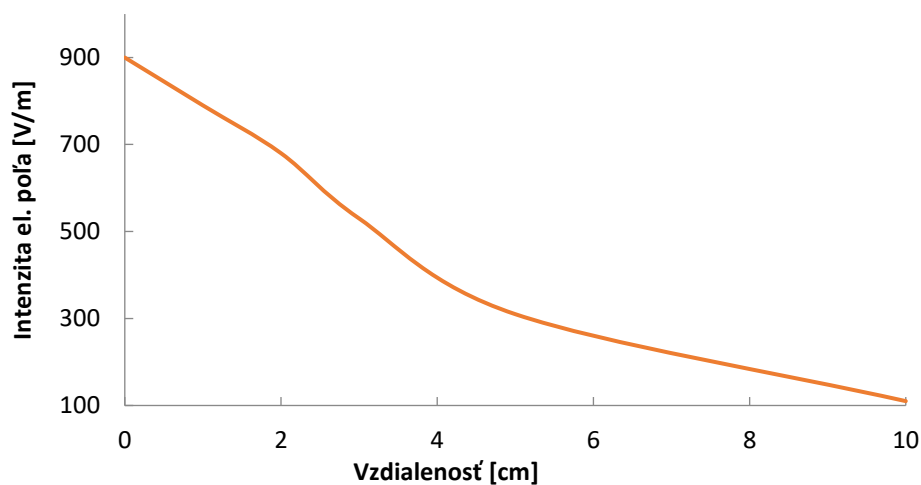


| Mlynček na kávu |                |           |
|-----------------|----------------|-----------|
| $s$ [cm]        | $B$ [ $\mu$ T] | $E$ [V/m] |
| 0               | 41             | 900       |
| 1               | 25             | 790       |
| 2               | 14             | 680       |
| 3               | 6              | 530       |
| 5               | 2              | 310       |
| 10              | 0,5            | 110       |

Obr. 1 Elektrický mlynček na kávu Delonghi KG89

Najprv bolo realizované meranie magnetickej indukcie, pričom sa meraním zisťovalo, kde je hodnota magnetickej indukcie najväčšia. V tomto mieste bolo realizované meranie magnetickej indukcie na povrchu (0 cm od mlynčeka) a následne bola zväčšovaná vzdialenosť na 1 cm, 2 cm, 3 cm, 5 cm a 10 cm. Ako druhé bolo merané elektrické pole. Takisto sa hľadalo miesto najväčšej intenzity elektrického poľa, ktoré sa zhodovalo s miestom najväčšej magnetickej indukcie. Meranie bolo vykonané vo vzdialenostiach 0 cm, 1 cm, 2 cm, 3 cm, 5 cm a 10 cm. Namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 1. Pri meraní bolo zistené, že pri vypnutom zariadení bola hodnota intenzity elektrického poľa 1750 V/m. Táto hodnota bola nameraná na každej strane mlynčeka. Po zapnutí, táto hodnota klesla na 900 V/m. Tento jav je možné nazvať ako stand-by režim, pri ktorom je zariadenie pripravené pracovať. Je možné povedať, že aj pri vypnutom zariadení je táto hodnota vysoká a môže negatívne vplývať na naše zdravie, ale aj na iné spotrebiče.

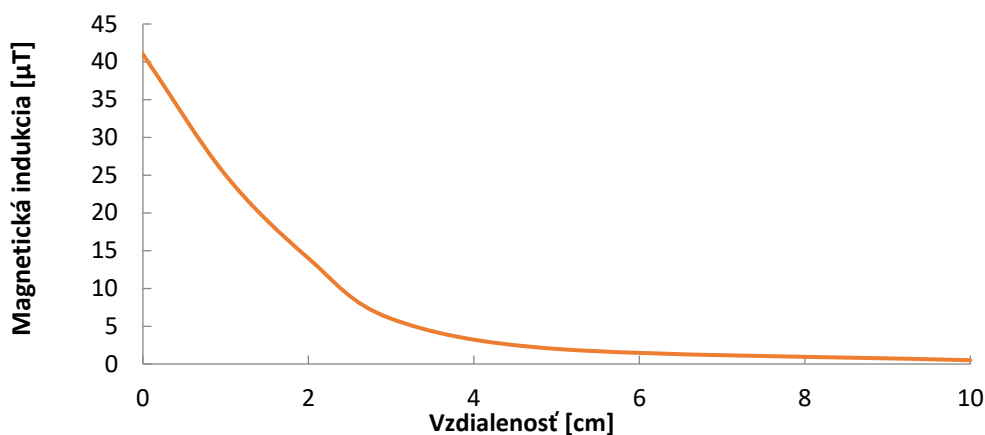
#### Závislosť intenzity el. poľa od vzdialenosti od zariadenia



Obr. 2 Závislosť intenzity elektrického poľa od vzdialenosti



### Závislosť magnetickej indukcie od vzdialenosti od zariadenia



Obr. 3 Závislosť magnetickej indukcie od vzdialenosti

Ako je možné vidieť v (Tab. 1) maximálna hodnota magnetickej indukcie bola  $41 \mu\text{T}$ . Táto hodnota bola nameraná priamo na spotrebiči na zadnej strane. V tomto mieste sa nachádza motor mlynčeka. Magnetická indukcia so zväčšujúcou sa vzdialenosťou klesá. Tento pokles je zobrazený v grafe na (Obr. 3). Pri vzdialenosti 10 cm bola hodnota magnetickej indukcie  $5 \mu\text{T}$  (Tab. 1).

Z (Tab. 1) vidíme, že hodnota intenzity elektrického poľa na povrchu mlynčeka je  $900 \text{ V/m}$  a postupne klesá so štvorcom vzdialenosti. To je zobrazené aj v grafe na (Obr. 2). Pri vzdialenosti 10 cm je hodnota intenzity elektrického poľa  $100 \text{ V/m}$ . Ako je uvedené vyššie, tento spotrebič na nás pôsobí aj vo vypnutom stave a to intenzitou elektrického poľa až  $1750 \text{ V/m}$  na povrchu mlynčeka.

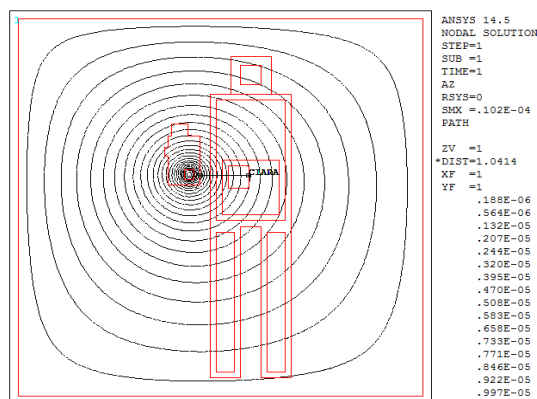
#### A. Výsledky získané simuláciou v programe ANSYS

Pri riešení problému sa využíval dvojrozmerný model človeka a zariadenia, pričom reálne rozmery ostali zachované. Sieť konečných prvkov je nevyhnutná pre výpočet. Presnosť výpočtu závisí od siete priamoúmerne. Veľkosť oka sieťovaná bola zvolená 1 cm. Táto sieť a dvojrozmerný model bol zvolený vzhľadom na rýchlosť výpočtu. Hustota siete je primeraná na dosiahnutie dobrej presnosti za pomerne krátky čas.

V programe ANSYS je potrebné každej ploche priradiť materiál, ktorý charakterizuje jej vlastnosti. Materiálové vlastnosti, ktoré program vyžaduje, závisia od toho, aký druh poľa sa rieši simuláciou.

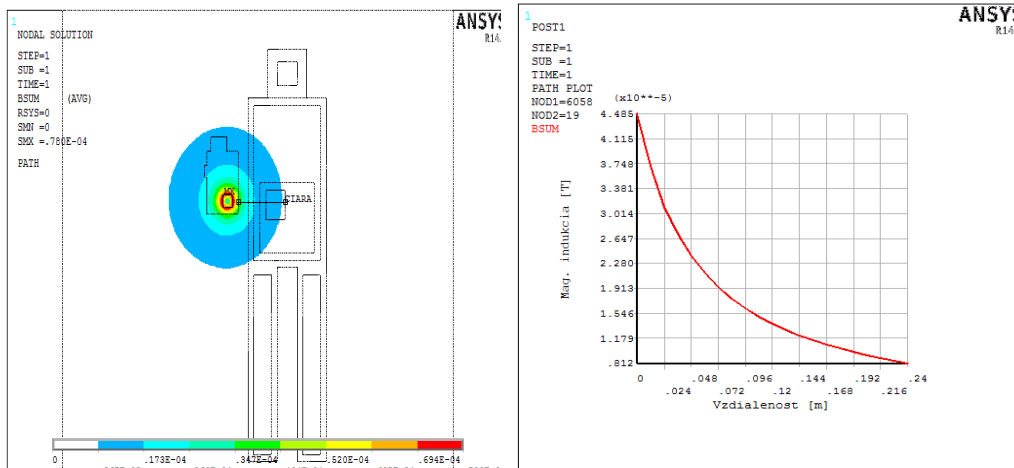
#### B. Magnetické pole

V prípade mlynčeka, bolo pomerne obťažné zistiť, aký motor generuje magnetické pole. Pri zadávaní hodnôt do programu sa vychádzalo z merania, ktoré bolo vykonané pred simuláciou. Meraním bola zistená hodnota magnetickej indukcie na povrchu mlynčeka, ktorá dosahovala hodnotu  $41 \mu\text{T}$ . Do programu pre výpočet bolo potrebné zadať hustotu prúdu. Hodnota, ktorá bola zadaná, je  $J_{\text{cel}} = 5000 \text{ A/m}^2$ . Táto hustota prúdu vyvolá v okolí mlynčeka na kávu magnetické pole s indukciou  $41 \mu\text{T}$ .



Obr. 4 Magnetické indukčné čiary

Rozloženie magnetických indukčných čiar je uvedené na Obr. 4. V mieste, kde je ich hustota väčšia, je aj magnetická indukcia väčšia, teda sú si navzájom úmerné. Najväčšia hustota je v okolí zdroja.



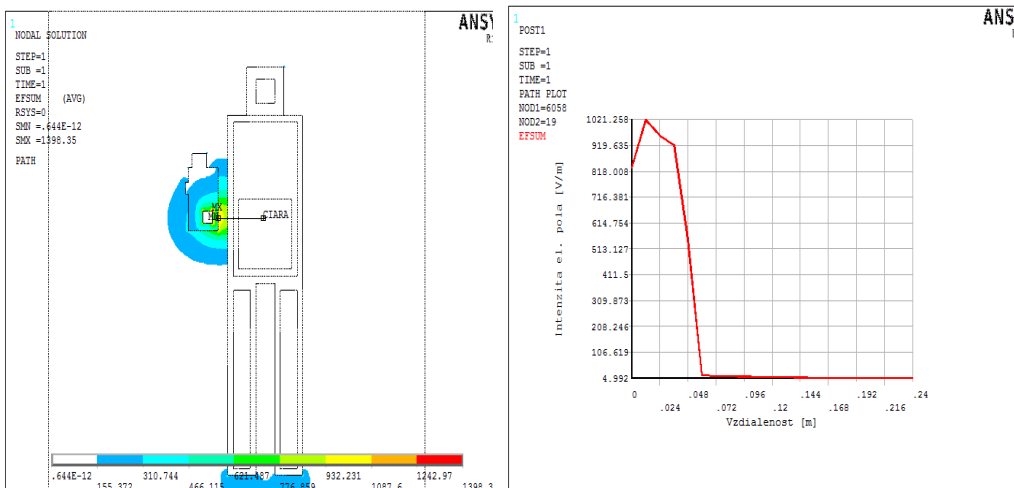
Obr. 5 Rozloženie magnetickej indukcie

Obr. 6 Graf závislosť magnetickej indukcie od vzdialenosti

Na Obr. 5 je zobrazené rozloženie magnetickej indukcie v okolí mlynčeka na kávu. Maximálna hodnota magnetickej indukcie bola 78  $\mu$ T a to priamo na zdroji. Je vidieť, že so zväčšujúcou sa vzdialenosťou, hodnota magnetickej indukcie klesá. Na obrázku je znázornená úsečka s názvom „CIARA“. Táto úsečka znázorňuje vzdialenosť, na ktorej je vykreslený graf. Graf je znázornený na Obr. 6. V tomto grafe je zobrazená krivka, ktorá charakterizuje, ako sa mení hodnota magnetickej indukcie so zväčšujúcou sa vzdialenosťou. Je vidieť, že magnetická indukcia klesá nepriamoúmerne so zväčšujúcou sa vzdialenosťou. Hodnoty v grafoch závislostí magnetickej indukcie od vzdialenosti, získané meraním a simuláciou, sú porovnateľné.

### C. Elektrické pole

Geometrický model, rozloženie materiálov a sieť konečných prvkov, bola využitá podobne, ako pri magnetickom poli, ktoré je uvedené vyššie. Pri simulácii bolo problematické stanoviť pracovné napätie prístroja a preto boli využité hodnoty dosiahnuté meraním. Podľa merania je intenzita elektrického poľa na povrchu mlynčeka v zapnutom stave 900 V/m. Teda do programu bolo potrebné zadať hodnotu napätia, ktorému bude korešpondovať takáto hodnota intenzity elektrického poľa. Táto hodnota je 100 V a bola priradená na zdroj. Na Obr. 7 je zobrazené elektrické pole v okolí mlynčeka a tiež úsečka s názvom „CIARA“ podobne, ako aj v predošlom prípade. Maximálna intenzita elektrického poľa je na zdroji, a to 1398 V/m. Na kryte je hodnota menšia a so vzdialenosťou klesá. Môžeme si všimnúť, že v okolí nôh modelovej osoby, je taktiež zvýšená intenzita elektrického poľa. Bolo to spôsobené rozdielnym potenciálom, ale aj tým, že intenzita sa zvyšuje na mieste záhybov a tam, kde je menší polomer zakrivenia, t.j. na hranách.



Obr. 7 Rozloženie intenzity elektrického poľa

Obr. 8 Graf závislosti intenzity elektrického poľa od vzdialenosti

Z grafu na Obr. 8 je vidieť, že na kryte je hodnota 818 V/m, kde spočiatku hodnota ešte narastá, ale potom začína klesať. Nárast na začiatku môže byť zapríčinený tým, že intenzita elektrického poľa v okolí ostrých hrán narastá. Hodnota  $E$  klesá so štvorcom vzdialenosti. Pokles hodnoty ovplyvňujú aj vlastnosti jednotlivých materiálov.

#### IV. ZHODNOTENIE A POROVNANIE S LIMITNÝMI HODNOTAMI

V tejto časti príspevku sú zhrnuté všetky výsledky dosiahnuté meraním a sú porovnané s limitnými (dovolenými) hodnotami. Dovolené hodnoty sú uvedené vo vyhláške Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č.534/2007 Z.z. Namerané hodnoty boli porovnané s dovolenými hodnotami, ktoré sú prípustné pre frekvenciu 50 Hz. Dovolená hodnota pre magnetickú indukciu je 100  $\mu$ T a pre intenzitu elektrického poľa je 5000 V/m.

Maximálna hodnota magnetickej indukcie, ktorá bola nameraná na povrchu mlynčeka na kávu, bola 41  $\mu$ T. Vidíme, že dovolená hodnota nebola prekročená. Hodnota intenzity elektrického poľa z merania je 900 V/m pri vypnutom zariadení. Podobne, ako pri magnetickej indukcii, hodnota neprekročila dovolenú hodnotu. Keďže tieto maximálne hodnoty magnetickej indukcie a intenzity elektrického poľa boli namerané na zadnej strane, používanie mlynčeka môžeme považovať za bezpečne.

Na druhej strane, pri vypnutom spotrebiči, ale stále pripojenom k sieti, bola nameraná dvojnásobná hodnota intenzity elektrického poľa, ako pri zapnutom zariadení. Z toho vyplýva, že aj pri vypnutom zariadení, elektrické pole tohto zariadenia môže vplývať na okolité zariadenia, ako aj na človeka. Preto je toto zariadenie vhodné odpájať od siete pri nečinnosti.

#### V. ZÁVER

V tomto príspevku bolo cieľom určiť vplyv elektromagnetického poľa v okolí elektrického mlynčeka na kávu. Určovanie tohto poľa bolo dosiahnuté dvoma spôsobmi a to meraním a simuláciou v programe ANSYS. V príspevku sú vyhodnotené výsledky intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie pre oba spôsoby. Vyhodnotenie je v grafickej forme. Namerané hodnoty sú porovnané s limitnými hodnotami z vyhlášky 534/2007 Z.z. Dodržanie bezpečnosti pri používaní tohto zariadenia je zabezpečené výrobcom, keďže neboli namerané vyššie hodnoty ako dovolené. Je možné, že časom a používaním sa budú tieto hodnoty zväčšovať. Preto je vhodné dodržiavať bezpečnú vzdialenosť pri používaní tohto zariadenia.

#### POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR a SAV podporenej grantom VEGA 1/0372/18, VEGA 1/0435/19 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.

#### LITERATÚRA

- [1] Hluška, V., „*Elektromagnetické pole a jeho vplyv na okolie*“. Bakalárska práca. Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2019.
- [2] Vyhláška č. 534/2007 Zb. Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky zo 16. augusta 2007 o podrobnostiach o požiadavkách na zdroje elektromagnetického žiarenia a na limity expozície obyvateľov elektromagnetickému žiareniu v životnom prostredí.
- [3] World Health Organisation, „*Electromagnetic fields (EMS). What are electromagnetic fields?*“ [Online]. [cit. 2019-05-06], Dostupné na internete: < <https://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/en/> >

# Tsunami waves detection by Mini-EUSO detector

<sup>1</sup>František KOVAL', <sup>2</sup>Pavol BOBÍK, <sup>3</sup>Ján GENČI, <sup>4</sup>Michal VRÁBEL

<sup>1,3,4</sup>Department of Computers and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>2</sup>Institute of Experimental Physics, Department of Space Physics, Slovak Academy of Sciences, Slovak Republic

<sup>1</sup>frantisek.koval.2@student.tuke.sk, <sup>2</sup>bobik@saske.sk, <sup>3</sup>jan.genci@tuke.sk,  
<sup>4</sup>michal.vrabel@tuke.sk

**Abstract** – Mini-EUSO is one of the precursor experiments of the JEM-EUSO mission. It is a small prototype of the main mission's telescope which has to be deployed at the International Space Station (ISS). One of the objectives of the Mini-EUSO experiment is observation of the UV radiation of the upper layers of the Earth's atmosphere, called airglow. Tsunami waves can generate atmospheric gravity waves (AGW) that causes changes in the production of airglow radiation. These changes can be observed by Mini-EUSO detector. In this paper we analyze the possibility of tsunami detection by space observation from Mini-EUSO experiment or by similar space projects.

**Keywords** – airglow, atmospheric gravity waves, Mini-EUSO, tsunamis

## I. INTRODUCTION

Tsunami waves can generate atmospheric gravity waves (AGWs) during their formation and propagation. These waves are gravity waves which propagate in the upper layers of the Earth's atmosphere, where their presence causes several changes in the atmosphere environment. One of these changes is change of the pressure of the atmosphere environment, which leads to different production of the airglow radiation. Airglow radiation is light phenomena, which occurs in the upper layers of the Earth's atmosphere. These layers contain elements, whose atoms react with each other. During these chemical reactions light radiation known as airglow is produced. Most of the airglow radiation is produced approximately at an altitude between 80 and 120 km. Therefore this area of Earth's atmosphere is called airglow layer. Tsunami response in a form of AGWs and changes of airglow production can be observed in the airglow layer by Mini-EUSO detector from low Earth's orbit. The Mini-EUSO experiment will provide an opportunity of verification of tsunami waves detection from space observatories through tsunami generated airglow response in the upper atmosphere. Such tsunami waves detection can be useful for concept of global complementary tsunami warning system. This tsunami warning system would be also available for African countries, which currently does not have tsunami warning system.

## II. MINI-EUSO EXPERIMENT

Mini-EUSO experiment is one of the preparatory projects of JEM-EUSO mission (Japanese Experiment Module on Extreme Universe) [1]. JEM-EUSO is a space observatory, which will be observing the Earth's atmosphere in ultraviolet spectrum from International Space Station (ISS). This project is led by international collaboration that includes 84 scientific institutions from 16 countries. Because the realization of the JEM-EUSO project is technically very difficult, the international collaboration has decided that realization of the mission will be implemented through smaller steps in the form of the several preparatory projects. With these projects, the collaboration wants to test some optical properties of the telescopes, and other important technical features of the observatory components. Such preparatory project is also Mini-EUSO experiment [2]. Its realization has begun in 2015 and it will be placed on ISS in the second half of the year 2019. Telescope of the Mini-EUSO experiment is composed of three essential parts:

- optical system,
- photo detector module (PDM),
- data acquisition system (DAQ).

The main components of the optical system are two Fresnel lenses with 25 cm diameter and two cameras. Near infrared camera and visible camera. Both of these cameras capture light radiation in different wavelength range. The purpose of these cameras is realization of additional measurements in the atmosphere (for example measurements associated with the presence of clouds). Fresnel lenses are used for focusing the light that goes through them on the surface of the PDM. Field of view of this optical system is 44 degrees. At a given Fresnel lenses size and field of view, it is possible to monitor land area of size approximately 260 x 260 km.

Photo detector module captures light radiation within wavelength range from 300 to 400 nm. It is composed of 36 multi-anode photomultipliers. Each photomultiplier has a matrix structure of 8 x 8 pixels. Together has the PDM 2304 pixels in the matrix form of 48 x 48 pixels.

DAQ system of mini-EUSO telescope will be creating frames from PDM with speed  $2.5 \mu s$  what is approximately 400 000 frames per second. For UV background research the DAQ system will be working in so-called slow frame rate in which it will be creating an integral frame by summing 16000 frames. This means that in this slow frame rate, it stores 25 frames per second.

Mini-EUSO experiment can observe several light events that occurs in the Earth's atmosphere. One of these light events is propagation of AGW waves induced by tsunamis in the airglow layer. The first time such AGW were observed in march 2011 after an earthquake in Tohoku region [3]. A year later they were observed again after an earthquake in the Haida Gwaii islands in the Pacific Ocean [4]. Tsunami-induced changes in production of an airglow radiation were the last time observed in 2015 after an earthquake in Illapel region in Chile [5]. All of these AGW waves were observed by a land observatory placed in Haleaka volcano in Hawaii. Space observatories like Mini-EUSO experiment have better potential for AGW waves detection because with a same field of view size their telescopes monitor a larger area of the airglow layer.

### III. SIMULATION OF MINI-EUSO MEASUREMENTS

Firstly, we created a simulated flight of Mini-EUSO detector over the tsunami-spreading area. During this flight we also simulated observed measurements of Mini-EUSO detector. These measurements were created on a realistic model of a tsunami response in airglow layer. In this realistic model, the response of tsunami wave in the atmosphere is represented by propagation of AGW wave, which is causing changes in airglow radiation.

Data preparation for the realistic tsunami wave signal was made at the Institute of Experimental Physics of Slovak Academy of Sciences. In this data preparation, simulation of several tsunami waves propagation was created in a form of maps. From these maps were then calculated the percentage differences of the UV signal intensity in the airglow layer based on the results presented in publication [6]. These results show the relation between sea level height and the production of airglow radiation in the upper atmosphere.

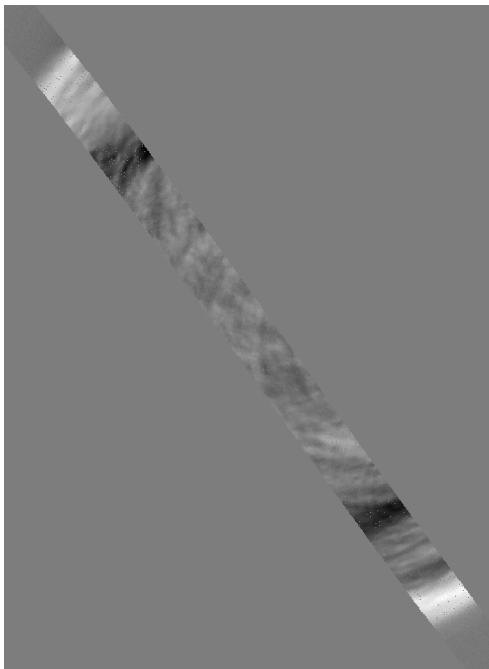


Figure 1: Simulated observation of airglow radiation by Mini-EUSO detector over tsunami-spreading area.

The results presented in this paper quantitatively show that 1 cm change in sea level height during tsunami propagation, leads to approximately 1% change in an intensity of airglow radiation in the atmosphere. With this assumption, all changes in the sea level heights were calculated to changes in airglow production. After this calculation, airglow radiation maps of specific tsunami waves were created.

From these maps were then created matrix files which represents measurements of Mini-EUSO detector in a specific time over the tsunami spreading area. With all of these simulated measurements, we constructed insight of airglow radiation within the mini-EUSO vision field over the tsunami wave. One of such insight is shown in figure 1.

### IV. IDENTIFICATION OF AGW

We have applied a pattern recognition algorithm on the simulated measurements of Mini-EUSO to identify an AGW wave in every single frame captured by the PDM module.

### A. Hough's algorithm

Firstly, we applied a Hough transform based pattern recognition algorithm for AGW wave identification in PDM frames. Using this algorithm we describe the wave peak with the highest intensity of airglow radiation by a single line, which is defined by two parameters. Angle rotation of line's normal and its distance from coordinate system origin. For PDM frames in which a main peak of an AGW wave is observed, a line acquired from the application of the Hough transform algorithm represents a parametric description of the main wave peak. Figure 2 shows example of such PDM frame (left) together with its corresponding Hough space (right). Red line represents solution of Hough's transform algorithm.

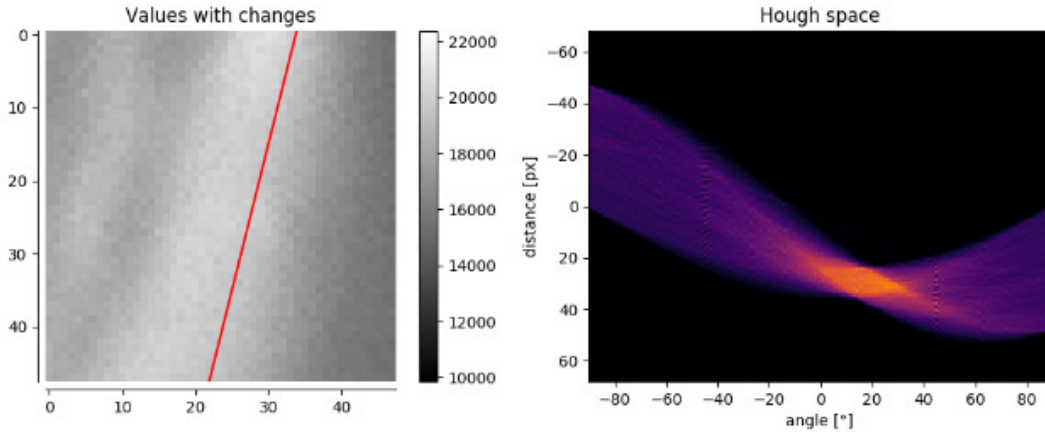


Figure 2: Application of Hough's transform algorithm on PDM frame that observed main peak of the AGW wave.

In frames that do not observe a main wave peak a line acquired by Hough's transform algorithm is just a description of the brightest pixels position in the PDM frame. Hough's transform application on such frame is shown in figure 3. For proper identification, it is therefore necessary to make additional frames separation on two categories. Those which observe main wave peak and those which does not.

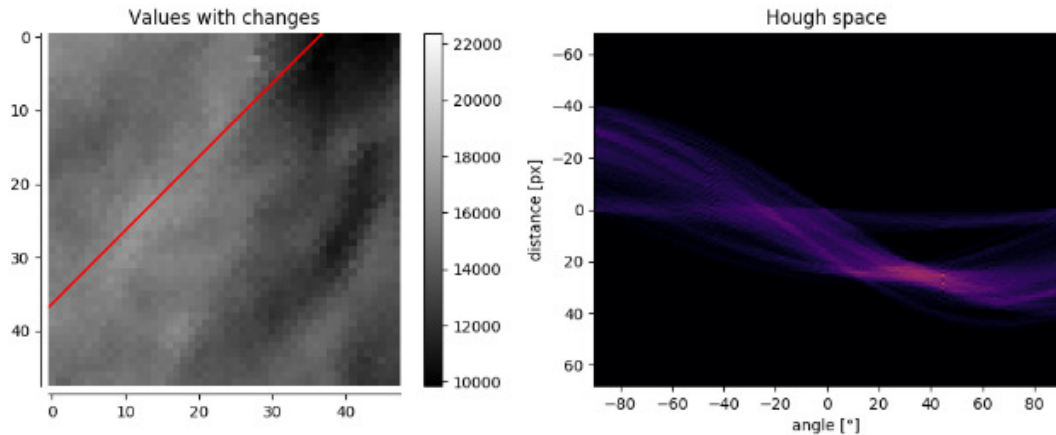


Figure 3: Application of Hough's transform algorithm on PDM frame that did not observed main peak of the AGW wave.

## V. STATISTICAL PARAMETERS

For the purpose of frame separation described above, we decided to use some statistical parameters that describe sets of brightest points in a Hough space created by the algorithm. We assumed that with such sets we could detect the biggest and the longest wave peak, observed in a PDM frame.

As the first parameter describing the Hough space, we choose the sum value of its  $n$  brightest points ( $SUM-n$ ). We tested several different values of  $n$  on each Hough space, during the simulated flight of Mini-EUSO detector. With the second parameter named  $HS-SIGNIFICANCE-n$ , we tried to describe significance of  $n$  points of a local maximum in comparison to all other points in Hough space. We calculated this parameter as a division of sum value of  $n$  local maximum points and sum value of all other points. As in previous parameter, we tested different values of  $n$  on each Hough space.

, which is an average intensity of a PDM frame. Then we displayed the values of both parameters by a creation time of corresponding PDM frames and analyzed behavior of these parameters during

whole simulated flight. After examination of behaviour of both parameter values, we found out that it is not possible to precisely identify main peak of AGW waves with them and neither it is possible to describe AGW wave propagation behaviour. Even if there is no wave peak in PDM frame, the Hough transform algorithm finds a series of brightness pixels. It is difficult to distinguish these pixels from wave peaks through Hough space. Although the algorithm can detect wave peaks in frames, we cannot distinguish them from false signals that the algorithm finds on other frames. Because of this, we did not continue with application of this algorithm or its variations.

Afterwards, we also tried to find statistical parameters which describe the propagation of AGW waves from the signal intensity of PDM frames. The first of such parameters is parameter  $I\text{-avg}$ , which is an average intensity of a PDM frame. Then we calculate for each frame a standard deviation ( $SD$ ) value of its pixel intensities. The frames on which there is an increase or a decrease in airglow production the  $SD$  parameter value is higher. Standard deviation value shows change in measured airglow production and that is the highest in the presence of waving. The last parameter is  $PDM\text{-SUM-}n$  parameter. It is a sum value of  $n$  brightest pixels in PDM frame.

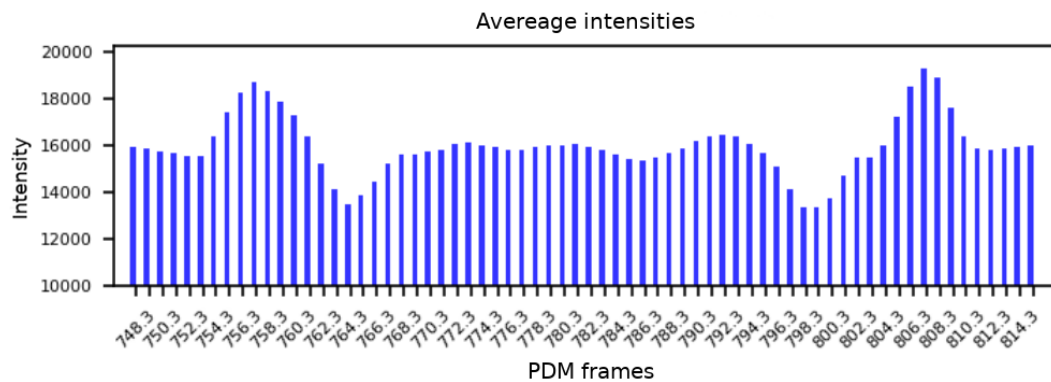


Figure 4

Tsunami wave propagation was described the best by the  $I\text{-avg}$  parameter. Figure 4 shows values of this parameter during whole flight. Even the parameter  $PDM\text{-SUM-}n$  can identify tsunami wave in a simulated flight with properly chosen values of  $n$ . But we did not see any qualitative difference compared to the the  $I\text{-avg}$  parameter.

## VI. CLOUD CONDITIONS

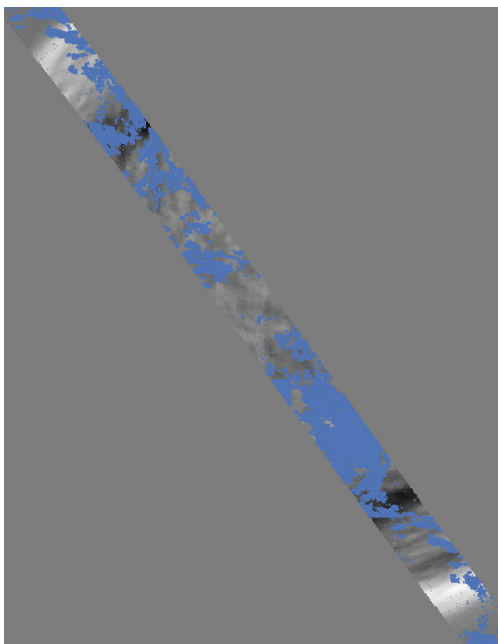


Figure 5: Airglow radiation observed by Mini-EUSO detector over tsunami-spreading area with cloud conditions.

An impact of cloudiness on tsunami wave detection possibility has been investigated, especially its impact on usability of the  $I\text{-avg}$  parameter. In good astronomical conditions, the presence of clouds has the most negative impact on the observed airglow radiation. Therefore, we have included cloud data into the PDM frames, and we have applied similar procedures for identification of AGW waves on each frame as on the frames without cloudiness conditions.

We obtained the cloud data from two currently running space projects. The first of them is project PLANET [7]. It is a start-up project initiated by Planet Labs team in 2010. Currently it has more than 150 satellites on the low Earth's orbit. The goal of the project is to capture the entire Earth's surface on daily basis with these satellites in the form of high resolution images.

The second source of cloud data is the MODIS experiment (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). This experiment is led by NASA (The National Aeronautics and



Space Administration). The goal of the MODIS experiment is a measurement of a large number of physical properties of processes that occurs on the land, in the ocean or in the atmosphere. We used one of the experiment's products called the L2 Cloud Product [8]. This product is focused only at measurement of physical properties of clouds.

After cloud data download from both projects we analyzed their suitability for use in our simulated flight. Data from the MODIS project proved to be more suitable for application in our simulated flight. There are totally 126 different physical cloud properties in a matrix form that represents field of view of MODIS experiment. All of these properties are recorded and stored in a form of HDF files (Hierarchical Data Format). Each HDF file represents different cloud conditions. Each measured value of a physical parameter also has a geographic location, which was observed by a given pixel at a certain time.

From all of physical properties stored in HDF files, we used cloud optical thickness measurements for cloud presence detection in specific area. From every HDF file we created cloud mask file that represent cloud presence in the observed area of MODIS experiment. Afterwards we mapped cloud conditions from all of cloud mask files to our simulated flight. Figure 5 shows one of such simulated flight of Mini-EUSO detector over the tsunami-spreading area. Cloud conditions are shown with blue color.

## VII. RESULTS

From data obtained after construction of multiple flights with different cloud conditions, we firstly calculated cloud cover percentages during the whole flights. Then, from each flight we selected a PDM frame with the maximum value of the average intensity. Using a pair of values (average intensity, cloud cover percentage), we plot a graph in which the points represent individual flights. This graph is shown in Figure 6 on the right. In the graph we can see that with higher cloud cover percentage in flights, the dispersion of the maximum values of average intensities is greater.

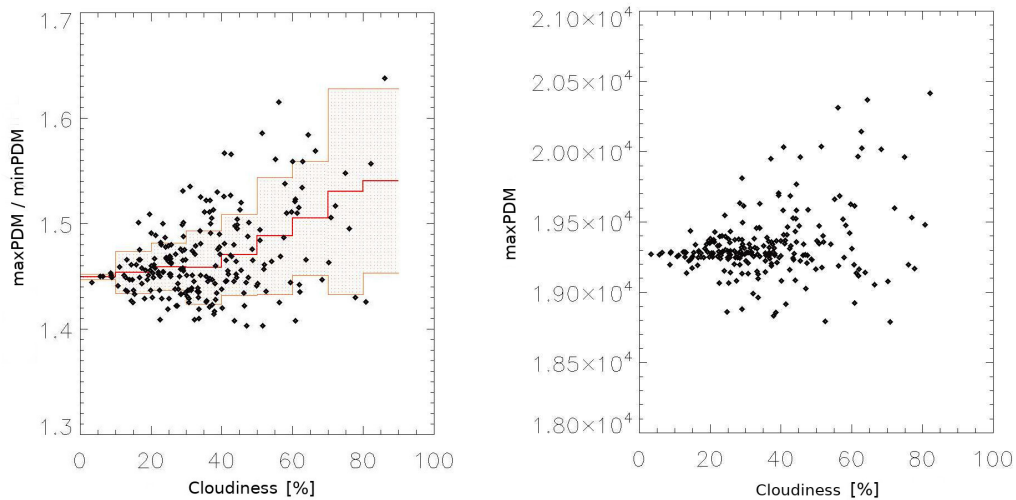


Figure 6: Results acquired using the values of averages intensities in simulated flights during cloudiness conditions.

From each flight, we also selected a PDM frame with the minimum value of the average intensity. Using this values we calculated the values of the coefficients obtained by division of the maximum and minimum average intensity in the flight. The value of this coefficient is during cloudless flight approximately two times higher than tsunami wave amplitude. Therefore it is suitable for tsunami waves detection in a simulated flight. Then we analyze how the cloudiness conditions affects this coefficient. The values of these coefficients of the individual flights with corresponding cloud cover percentage are shown in Figure 6 on the left.

For statistical description of the obtained results obtained, we evaluated the standard deviation of the coefficients for the 10% ranges of cloud cover percentages. The results for each cloud cover percentage range are shown in Table 1. The table shows that the division coefficient between the minimum and maximum average intensity value in flight is increasing with the growing cloud cover percentage, but the increase of this coefficient is only a few percent. The second column of the table shows the average value of this coefficient for each cloud cover percentage range. The coefficient value for 0 to 10 cloud cover percent range is very close to the coefficient value for cloudless conditions. The third and fourth columns of the table show the standard deviation values of coefficient in a given cloud cover range. Standard deviations for individual cloud cover

ranges are also shown as a violet area in Figure 6. the red line in the middle of the violet area shows the average coefficient value for a given cloud cover range.

Table 1: Influence of cloudiness conditions on division coefficient of maximum and minimum average intensities in flights

| Cloudiness [%] | $max_{PDM}/min_{PDM}$ | Standard Deviation | Standard Deviation [%] |
|----------------|-----------------------|--------------------|------------------------|
| <b>0 - 10</b>  | 1.449                 | 0.00275            | 0.19                   |
| <b>10 - 20</b> | 1.453                 | 0.01996            | 1.37                   |
| <b>20 - 30</b> | 1.459                 | 0.02221            | 1.52                   |
| <b>30 - 40</b> | 1.458                 | 0.03498            | 2.40                   |
| <b>40 - 50</b> | 1.470                 | 0.03844            | 2.61                   |
| <b>50 - 60</b> | 1.488                 | 0.05533            | 3.72                   |
| <b>60 - 70</b> | 1.505                 | 0.05403            | 3.59                   |
| <b>70 - 80</b> | 1.530                 | 0.09747            | 6.37                   |
| <b>80 - 90</b> | 1.540                 | 0.08734            | 5.67                   |

The table shows that the value of standard deviation is increasing with the increasing cloud cover percentage in the whole simulated flight. The standard deviation is very small for a cloud cover range from 0 to 10 percent (significantly less than one percent), and in the cloud range cover range from 10 to 90 percent has values up to 7 percent.

## VIII. CONCLUSION

It appears that the cloud cover does not affect our division coefficient very much. This is a positive finding in term of usability such coefficient for tsunami wave identification in flight data. The result of the statistical summary of cloudiness impact is that the average intensity parameter of each frame is usable for tsunami wave identification even in the case of cloudiness conditions in the flight area of Mini-EUSO experiment. In summary, the occurrence of tsunami wave in the flight area will increase the division coefficient of PDM frames with a maximum and minimum average intensity, and that the presence of cloud conditions in the flight area will not affect this coefficient too much.

## REFERENCES

- [1] J. Adams, S. Ahmad, J.-N. Albert, D. Allard, L. Anchordoqui, V. Andreev, A. Anzalone, Y. Arai, K. Asano, M. Ave Pernas, P. Baragatti, P. Barrillon, T. Batsch, J. Bayer, R. Bechini, T. Belenguer, R. Bellotti, K. Belov, A. Berlind, and A. Zuccaro Marchi, "The jem-euso mission: An introduction," *Experimental Astronomy*, vol. 40, pp. 3–17, 11 2015.
- [2] V. Scotti and G. Osteria, "The mini-euso telescope on the iss," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. 845, pp. 408–409, 01 2016.
- [3] J. Makela, P. Lognonné, H. Hébert, T. Gehrels, L. Rolland, S. Allgeyer, E. Kherani, G. Occhipinti, E. Astafyeva, P. Coisson, A. Loevenbruck, and E. Clévéde, "Imaging and modeling the ionospheric airglow response over hawaii to the tsunami generated by the tohoku earthquake of 11 march 2011," *Geophysical Research Letters - GEOPHYS RES LETT*, vol. 38, 12 2011.
- [4] M. A. Grawe and J. J. Makela, "The ionospheric responses to the 2011 tohoku, 2012 haida gwaii, and 2010 chile tsunamis: Effects of tsunami orientation and observation geometry," *Earth and Space Science*, vol. 2, no. 11, pp. 472–483, 2015.
- [5] M. A. Grawe and J. J. Makela, "Observation of tsunami-generated ionospheric signatures over hawaii caused by the the 16 september 2015 illapel earthquake: Ionospheric signatures from 2016 illapel tsunami," *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, vol. 122, pp. 1125–1136, 01 2016.
- [6] M. Hickey, G. Schubert, and R. Walterscheid, "Atmospheric airglow fluctuations due to a tsunami-driven gravity wave disturbance," *Journal of Geophysical Research*, vol. 115, 06 2010.
- [7] Planet Team (2017). Planet Application Program Interface: In *Space for Life on Earth*. San Francisco, CA. <https://api.planet.com>.
- [8] S. Platnick, S. A. Ackerman, M. D. King, K. Meyer, W. P. Menzel, R. E. Holz, B. A. Baum, and P. Yang, 2015: MODIS atmosphere L2 cloud product (06\_L2), NASA MODIS Adaptive Processing System, Goddard Space Flight Center.

# Features investment in projects related to renewable energy

<sup>1</sup>Maksym Oliinyk, <sup>2</sup>Jaroslav Džmura

<sup>1</sup> Department of Electric Power Engineering; Faculty of Electrical Engineering and Informatics  
Technical University of Košice  
Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>Maksym.Oliinyk@tuke.sk, <sup>2</sup>Jaroslav.Dzmura@tuke.sk

**Abstract** — The introduction and use of renewable energy sources in the world is increasing every year. Most countries have taken a series of measures to combat the greenhouse effect. One of the most common is the widespread implementation and subsidization of renewable energy sources. One thing is that there are a number of problems associated with investing in projects that are associated with renewable energy sources for investors. Obviously, investments in traditional energy sources dominate the total investment in the energy sector, so the main question to assess the prospects for the renewable energy market is how to get enough investment to change the direction of investment towards renewable energy. It is important to analyze the relationship between sources of financing and the areas of renewable energy to which this financing goes. In addition to generating income from the investments themselves, investing in renewable energy can be attractive for investors to diversify the investment portfolio, as well as to improve the reliability of the energy system in individual markets and to achieve energy security of individual regions. The purpose of the research in this article is to establish the relationship between how certain types of financing create prerequisites for the development of certain types of renewable energy sources, as well as to identify and systematize the barriers that affect the attraction of funds for renewable sources at various stages of investment.

**Keywords** — renewable energy sources, projects funding, investments in renewable energy.

## I. INTRODUCTION

The purpose of this study was to study and identify the relationship between various sources of financing renewable energy projects attracted at various stages of the life cycle of renewable energy projects, as well as emerging barriers to projects and measures to overcome these barriers. This study is based on a review and analysis of statistical sources of information from international agencies on financing renewable energy projects in order to identify and systematize the links between the tools used to attract funding for renewable energy projects, state and intergovernmental policy measures aimed at developing the renewable energy market, and barriers. overcoming which use of these tools and measures is directed.

## II. THE RESULTS OF THE STUDY

In 2017, of the total investment in renewable energy in the amount of 279.8 billion dollars, investment from non-public sources in new projects in the form of project private financing accounted for more than 77% of the total investment [1, 2]. Despite the growing trend of increasing investment in renewable energy from 47 billion dollars in 2004 to a maximum of 323.4 billion dollars in 2015, the trends show a decline to 279.8 billion dollars in 2017 (a decrease of 13% by 2015 ) and a corresponding increase in risk sensitivity among financiers [1-3]. However, for the further advancement and scaling of renewable energy technology require significant investments in companies, projects and infrastructure up to 8.5 trillion. dollars for the period from 2018 to 2050 [4,5]. To date, more than 150 countries have adopted a special policy on renewable energy, 75 countries have policies regarding the generation of heat based on renewable energy sources and 72 countries for renewable energy in transport [6,7]. Support measures and public policies are evolving with the development of the industry itself. In the early periods of development of the renewable energy industry, most of the measures were aimed at compensating for the gap in the costs of energy production from renewable sources and in traditional energy. But as technology develops and the industry expands, new policy support initiatives are aimed at reducing the risks of investors making capital-intensive investments. Green tariffs were key in accelerating the deployment of renewable energy sources and remain the dominant form of

political support for generating electricity from renewable energy sources; but 2015 was the first year since 2000, in which new support scheme schemes were not launched [6,8]. A positive indicator of market maturity is the growing popularity of using auctions for purchasing electricity from renewable sources: an auction mechanism was introduced in more than 60 countries in 2015 [6,8]. When making decisions, investors make a choice between financing renewable energy projects and traditional energy projects, including taking into account the support measures offered by state institutions. Therefore, for institutions engaged in promoting renewable energy, it is necessary to propose solutions that help overcome institutional, political, financial, economic and barriers [9] [10].

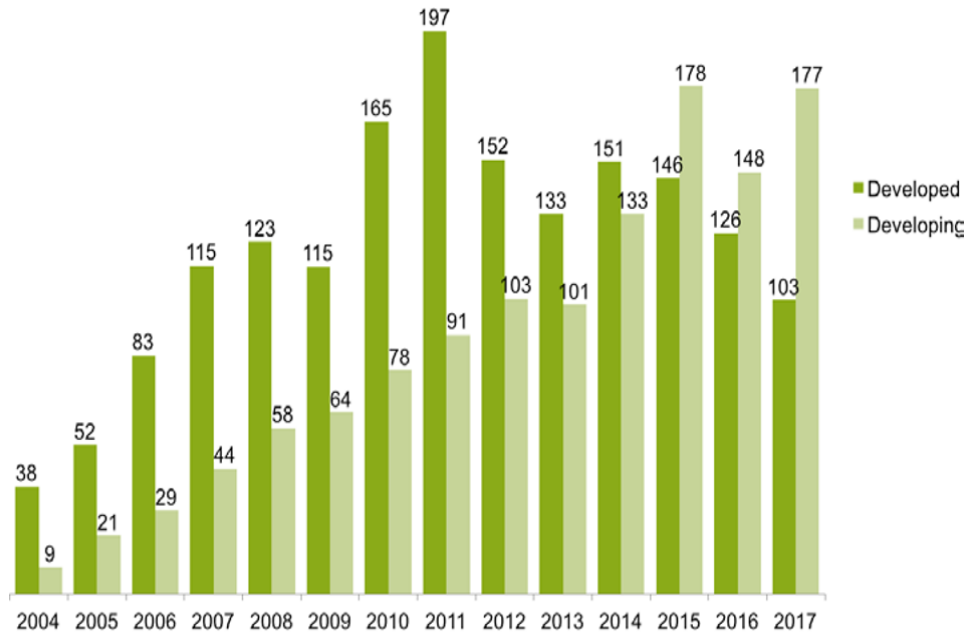


Fig 1. GLOBAL NEW INVESTMENT IN RENEWABLE ENERGY: DEVELOPED V DEVELOPING COUNTRIES, 2004-2017 [1]

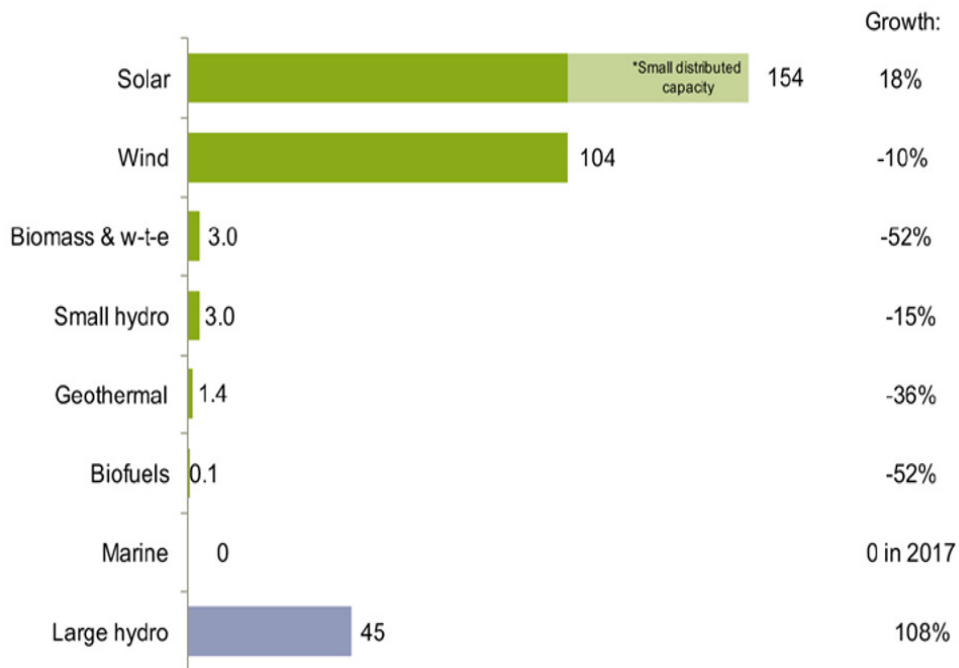


Fig 2. RENEWABLE ENERGY ASSET FINANCE AND SMALL DISTRIBUTED CAPACITY INVESTMENT BY SECTOR, 2017, AND GROWTH ON 2016 [1]

### III. TECHNOLOGICAL BARRIERS

The most important technological barrier that must be overcome for the sustainable development of renewable energy is the emergence of a sustainable understanding that for renewable energy there is widespread use in the present and future [11]. When choosing

alternatives for investment, a private investor will primarily rely on mature traditional energy technologies. To overcome this technological barrier, funding in the form of partnerships with public sources, government agencies, as well as specialized non-government agencies such as Advanced Research Projects Agency - Energy (ARPA-E) [12] will be effective. At the testing and demonstration stage, it is important to provide investors with reliable information about the feasibility and commercial viability of the project, which will reduce information asymmetry and facilitate further investment [11,13].

#### IV. INSTITUTIONAL BARRIERS

Institutional barriers are associated with changes in social behavior. Traditional energy sources have sustainable markets and developed infrastructure. In order to overcome institutional barriers it is required that structures promoting the development of renewable energy sources support the development of infrastructure and infrastructural technologies with the involvement of investors from the traditional energy industries, in order to ensure, in particular, the availability of electrical networks to include newly created renewable energy projects. For the commercial stage, it is important to create and maintain a state regulatory regime that provides guarantees to investors in the long term [11]. When implementing projects that require approval for implementation by the population, it is necessary to create an environment for obtaining such approvals, as well as creating a positive image for RES projects among the population.

#### V. ECONOMIC BARRIERS

The lack of sufficient information on the profitability of the projects being implemented, especially in comparison with significant data on the traditional energy projects implemented, creates economic barriers for investors. Bloomberg New Energy Finance has published the annual report on the development of world energy New Energy Outlook 2018 [4]. It states that by 2050, investment in the global "green" energy will be over \$ 8.5 trillion, and the share of renewable energy in global output will be more than 50%, and taking into account hydropower and nuclear energy more than 70% [4]. When comparing the economics of energy generation projects from renewable and traditional sources, the investor often does not take into account the negative environmental impacts in the cost of the latter. At the development stage, the main economic barrier is the lack of a reliable estimate of commercial sales and market uncertainty. In this case, grants and subsidies are a mechanism to stimulate investment. At the same time, the reduction of subsidies to traditional energy would be a signal to demonstrate the direction of innovative development [13]. At the stages from testing to commercial launch, the main economic barriers are the high startup costs, the high discount rate on future revenues when attracting debt financing. At this stage refinancing will be needed for venture capital that has entered projects in the previous stages. At the commercial launch stage, it is important to form steady demand from consumers. Forms such as various tax credits can at this stage create a competitive advantage for RES. For RES, additional incentives such as the introduction of tariffs for the supply, special certificates and the introduction of quotas will also contribute to the expansion of investment.

#### VI. FINANCIAL BARRIERS

Financial barriers come from informational asymmetries, since financiers usually do not have sufficient technological or political knowledge to assess risks and the effectiveness of return on investment between traditional sources and new clean technologies. Therefore, there is a lack of investment in clean energy research and development. To attract private investors at this stage, government guarantees are necessary to ensure the provision of private loans, as well as investment in capital from innovative companies [14]. These barriers can be mitigated by financing through a combination of public and private investment banks, for example, for infrastructure investments. In order to attract private investment and expand market opportunities, it is necessary to create, in the context of understanding the market prospects, expectations of its growth trend. Direct financing, investments in technology support and demand stimulation projects, and fiscal policy will form sufficient strength to overcome financial barriers [14]. On the part of state bodies, it is necessary to create an investment environment and minimize regulatory and political risks. In order to attract institutional investors in renewable energy, requirements for risks and creating reserves should be relaxed specifically for investments in renewable energy. In order to stimulate investments from such institutional investors as investment funds, the issue of special regulatory standards is necessary.

#### VII. POLITICAL BARRIERS

Political barriers are primarily associated with the lack of coordination of various state and intergovernmental institutions, and often the lack or weakness of government policies regarding

energy diversification [15]. To perfect such a policy, it is necessary to include in it both the areas of support for direct investments in renewable energy sources and the improvement of policies regarding the infrastructure supporting this development - transport, energy, and agriculture. Changes in public policy can have a negative effect, since various methods of support can be laid by investors when making investment decisions, and the instability of the political environment will impede investment. In addition, it is necessary to take into account the political influence of the traditional energy lobbyists, who also receive state support in certain areas, and will prevent changes related to diversification in favor of renewable energy [11,15]. To overcome political barriers, it is first of all necessary to improve state policy and ensure its stability in the long term. Political barriers have a significant impact on all stages of the implementation of renewable energy projects.

### VIII. TRANSFORMATION BARRIERS

Transformation barriers take place at the stage of transition between development and testing and launching projects into commercial operation, and are associated with the very nature of launching new technologies. Overcoming this barrier is possible by attracting new investors with the experience of launching projects for commercial implementation, such as venture capitalists. Open competition and the fullest possible information about commercial opportunities will help mobilize private funding at this stage. Creating an economic environment that is interested in developing "clean" technologies will help overcome the transformation barriers and increase investor interest and renewable energy projects.

### IX. CONCLUSION

Growth Financing RES projects are associated with overcoming technological, economic, political, financial and transformational barriers. This article examines the causes and specificity of barriers to attracting financing and developing projects in the field of renewable energy. To overcome them and attract investors, it is important to offer various forms of state and interstate support and to form sustainable market regulation rules. The renewable energy market is subject to greater uncertainty than traditional energy, and is experiencing additional impacts from outside, since further energy diversification in favor of renewable energy will be associated with the redistribution of financial and investment flows from traditional sources.

### ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Scientific Grant Agency of the Ministry of Education of Slovak Republic and the Slovak Academy of Sciences by the projects VEGA No. 1/0372/18.

### REFERENCES

- [1] Global trends in renewable energy investment 2018 // Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF. 2018 [Online]. Available at: <<http://www.fs-unep-centre.org>>
- [2] World energy outlook 2017 // IEA International Energy Agency [Online]. Available at: <<https://www.iea.org/weo2017.3>>
- [3] Renewable energy medium-term marker report 2016 // IEA International Energy Agency [Online]. Available at: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/MTRMR2016.pdf>>
- [4] New Energy Outlook 2018. BNEF's annual long-term economic analysis of the world's power sector out to 2050 // Bloomberg New energy finance.2018 [Online]. Available at: <<https://bnef.turtl.co/story/neo2018>>
- [5] Renewables Global Futures Report: Great debates towards 100% renewable energy. Paris: REN21 Secretariat [Online]. Available at: <<http://www.ren21.net/future-of-renewables/global-futures-report/>>
- [6] RECAI. Renewable energy country attractiveness index // E&Y. 2015. № 45.
- [7] World energy outlook 2016 // IEA International Energy Agency [Online]. Available at: <<https://www.iea.org/weo2016>>
- [8] Renewables 2018. Global status report. Paris: REN21 Secretariat. 2018 [Online]. Available at: <[http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/178652\\_GSR2018\\_FullReport\\_web\\_final\\_.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/178652_GSR2018_FullReport_web_final_.pdf)>
- [9] Global landscape of renewable energy finance // IRENA International Renewable Energy Agency. 2018 [Online]. Available at: <<http://www.irena.org/publications/2018/Jan/Global-Landscape-of-RenewableEnergy-Finance>>
- [10] Mazzucato M., Semieniuk G. Financing renewable energy: Who is financing what and why it matters // Technological Forecasting & Social Change. 2108. № 127. p. 8–22.
- [11] Risk Quantification and Risk Management in Renewable Energy Projects // Altran Arthur D. Little. 2011 [Online]. Available at: <<http://iea-retd.org/wp-content/uploads/2011/11/RISK-IEA-RETD-2011-6.pdf>>
- [12] ARPA-E Impacts: A Sampling of Project Outcomes. 2017. Volume II [Online]. Available at: <[https://arpa.e.energy.gov/sites/default/files/Volume%20\\_ARPA-E\\_ImpactSheetCompilation\\_FINAL.pdf](https://arpa.e.energy.gov/sites/default/files/Volume%20_ARPA-E_ImpactSheetCompilation_FINAL.pdf)>
- [13] Financing renewable energy. Options for Developing Financing Instruments Using Public Funds // The World Bank. 2013 [Online]. Available at: <[http://siteresources.worldbank.org/EXTENERGY2/Resources/SREP\\_financing\\_instruments\\_sk\\_clean2\\_FINAL\\_FOR\\_PRINTING.pdf](http://siteresources.worldbank.org/EXTENERGY2/Resources/SREP_financing_instruments_sk_clean2_FINAL_FOR_PRINTING.pdf)>
- [14] Unlocking renewable energy investment: The role of risk mitigation and structured finance // IRENA International Renewable Energy Agency. 2016 [Online]. Available at: <<http://www.irena.org/publications/2016/Jun/Unlocking-Renewable-Energy-InvestmentThe-role-of-risk-mitigation-and-structured-finance>>
- [15] Burke M., Stephens C. Political power and renewable energy futures: A critical review // Energy Research & Social Science. 2018. № 35. p. 78–93.

# Vývoj difúzneho bloku pre obrazové šifrovacie algoritmy

*Luboš OVSENÍK, Ján TURÁN, Jakub ORAVEC*

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

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

**Abstrakt** – V tomto článku sa opisuje problematika difúzneho bloku v obrazových šifrovacích algoritmoch. Neustály rozvoj techník analýzy takýchto algoritmov spôsobuje rastúcu dôležitosť miery difúzie intenzít obrazových prvkov. Príspevok predstavuje dve riešenia difúzneho bloku, ktoré boli skúmané počas doktorandského štúdia. Druhé riešenie je analyzované detailnejšie, keďže sa z pohľadu množstva aplikácií javí ako univerzálnejšie. Článok tiež vyhodnocuje toto riešenie difúzneho bloku prostredníctvom výpočtu miery difúzie intenzít obrazových prvkov celého obrazového šifrovacieho algoritmu, ktorý využíva toto riešenie. Miera difúzie sa počíta pomocou dvoch bežne používaných metrík a je uvedená aj pre rôzne varianty difúzneho bloku s vynechanými krokmi.

**Kľúčové slová** – diferenčné útoky, difúzia, Mojette transformácia, obrazové šifrovacie algoritmy, reťazenie

## I. ÚVOD

Prvé obrazové šifrovacie algoritmy boli popísané koncom deväťdesiatych rokov minulého storočia. K takýmto algoritmom patrí napr. technika navrhnutá J. Fridrichom v roku 1998 [1]. Myšlienka Fridrichovho algoritmu spočívala v preusporiadaní obrazových prvkov (*op*) zvoleného otvoreného obrazu a realizácii reťazenia ich intenzít. Tieto dve operácie je možné označiť aj ako konfúziu a difúziu intenzít *op*. Termíny konfúzia a difúzia zaviedol už v roku 1949 C. Shannon [2], ktorý taktiež popísal aj ich význam.

Pri konfúzii *op* dochádza k ich preusporiadaniu, čím sa potlačí vysoká miera korelácie susedných *op*. Difúzia *op* naopak závislosti medzi intenzitami *op* zavádza, avšak tým spôsobom, aby sa všetky tieto intenzity navzájom ovplyvňovali. Pri vhodne navrhnutom difúznom bloku v obrazových šifrovacích algoritmoch by aj minimálna zmena intenzity jedného *op* mala spôsobiť totálne odlišný zašifrovaný obraz.

Rastúci počet navrhnutých obrazových šifrovacích algoritmov spôsobil aj vytvorenie techník analýzy takýchto algoritmov. K prvým z týchto algoritmov patrí prístup K. Wanga a kol. z roku 2005 [3], ktorý poukázal na nevhodnú implementáciu chaotického zobrazenia v algoritme [4]. Zatiaľ čo uvedená technika slúži len na odhalenie vlastností jedného obrazového šifrovacieho algoritmu, neskôr boli navrhnuté aj prístupy, ktoré je možné využiť na analýzu vlastností obrazových šifrovacích algoritmov vo všeobecnosti.

K najvýznamnejším metódam analýzy obrazových šifrovacích algoritmov patrí prístup E. Solaka a kol. z roku 2010 [5]. Aj keď útok zverejnený v uvedenom príspevku bol zameraný hlavne na prelomenie Fridrichovho šifrovacieho algoritmu [1], plynú z neho všeobecné závery a je možné aplikovať ho na viacero obrazových šifrovacích algoritmov, ktoré pri šifrovaní nekombinujú otvorený obraz s pseudo-náhodnou postupnosťou (PNP). Solak a kol. v závere ich príspevku uvádzajú aj niekoľko možností potlačenia ich útoku. Preskúmanie niektorých z týchto možností bolo vykonané počas doktorandského štúdia.

## II. POUŽITÉ TECHNIKY

### A. Mojette transformácia

Mojette transformáciu (MoT) uviedli v roku 1995 J.-P. Guédon, D. Barba a N. Burger [6]. Názov MoT je odvodený od druhu fazule, ktorá sa vo francúzskych školách používala na výuku jednoduchých aritmetických operácií [6]. Tieto operácie sú základom aj pre MoT, ktorá dnes slúži najmä na reprezentáciu obrazov v odtieňoch sivej prostredníctvom tzv. binov. Biny MoT sú počítané ako súčty intenzít *op* pozdĺž myšlených priamok prechádzajúcich cez obraz (1):



$$\text{bin}(b, p, q) = \sum_{k=1}^w \sum_{l=1}^h \text{Im}(l, k) \cdot \delta(b + kq - pl), \quad (1)$$

kde  $\text{bin}(b, p, q)$  je hodnota binu s parametrami  $(p, q)$  a poradovým číslom  $b$ ;  $k = 1, 2, \dots, w$  je súradnica stĺpcov obrazu  $\text{Im}$ ,  $w$  je jeho šírka;  $l = 1, 2, \dots, h$  je súradnica riadkov obrazu  $\text{Im}$ ,  $h$  je jeho výška a  $\delta(x)$  je Kroneckerova delta funkcia, kde  $\delta(x) = 1$  pre  $x = 0$ , inak  $\delta(x) = 0$ . Použitie Kroneckerovej delta funkcie a parametrického vyjadrenia priamky zaručuje, že sčítat' sa budú len intenzity tých  $op$ , ktorých stredom prechádza myšlená priamka.

Parametre binov  $(p, q)$  sa volia na základe dvoch pravidiel:

- jednotlivé hodnoty  $p_i$  a  $q_i$  sú nesúdeliteľné, teda ich najväčší spoločný deliteľ je rovný 1,
- všetky hodnoty  $q_i$  sú kladné, teda výsledné projekčné uhly  $\theta_i = \arctan(q_i/p_i)$  sú z intervalu  $(0^\circ; 180^\circ)$ .

Poradové čísla binov  $b$  sa volia tak, aby bola intenzita  $op$  so súradnicami  $[0, 0]$  použitá pri výpočte binu s poradovým číslom  $b = 0$ .

### B. Metriky na vyhodnotenie vlastností difúzných blokov

Na vyhodnotenie vlastností difúzných blokov obrazových šifrovacích algoritmov z hľadiska ich odolnosti voči diferenčným útokom sa používa nasledujúci postup:

- 1) Zo zvoleného otvoreného obrazu  $P_1$  sa vytvorí totožná kópia, ktorá sa nazve ako  $P_2$ .
- 2) V obraze  $P_2$  sa náhodne zvolia súradnice jednej intenzity  $op$ , ktorá sa zmení o jednu intenzitnú úroveň (buď sa inkrementuje, alebo dekrementuje).
- 3) Dvojica otvorených obrazov  $P_1$  a  $P_2$  sa zašifruje rovnakým šifrovacím algoritmom s použitím rovnakého kľúča a ďalších parametrov.
- 4) Zo získanej dvojice zašifrovaných obrazov  $E_1$  a  $E_2$  sa určia hodnoty metrických odolnosti voči diferenčným útokom. Pre jednotlivé farebné zložky zašifrovaných obrazov  $E_1$  a  $E_2$  sa počítajú hodnoty metrických NPCR (angl. Number of Pixel Change Rate) a UACI (angl. Unified Average Changing Intensity) podľa (2), resp. (3).

$$\text{NPCR} = \frac{100}{h \cdot w} \sum_{l=1}^h \sum_{k=1}^w \text{Diff}_{mat}(l, k) [\%], \quad (2)$$

kde  $h$  je výška obrazov  $E_1$  a  $E_2$ ,  $w$  je ich šírka,  $l$  a  $k$  sú súradnice riadkov a stĺpcov a  $\text{Diff}_{mat}$  je rozdielový obraz,  $\text{Diff}_{mat}(l, k) = 1$  ak  $E_1(l, k) \neq E_2(l, k)$ , inak  $\text{Diff}_{mat}(l, k) = 0$ .

$$\text{UACI} = \frac{100}{h \cdot w} \sum_{l=1}^h \sum_{k=1}^w \frac{|E_1(l, k) - E_2(l, k)|}{2^L - 1} [\%], \quad (3)$$

kde  $L$  je farebná hĺbka každej farebnej zložky obrazov  $E_1$  a  $E_2$ .

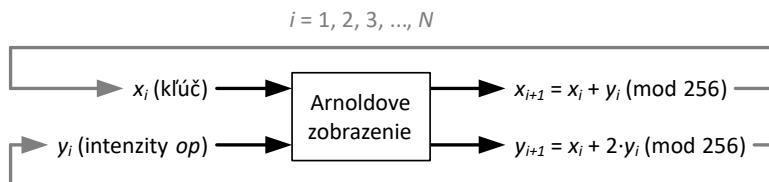
Vlastnosti metrických NPCR a UACI boli ďalej skúmané Y. Wuom a kol. [7]. Hlavný prínos práce týchto autorov spočíva v určení tzv. *očakávaných hodnôt* (angl. expected values) metrických NPCR a UACI. Splnenie, resp. prekročenie očakávaných hodnôt zaručuje určitú mieru odolnosti voči diferenčným útokom. Táto miera závisí od použitej úrovne významnosti  $\alpha$  (angl. significance level). Vo všeobecnosti platí, že pre úroveň významnosti  $\alpha$  je miera odolnosti voči diferenčnému útoku  $100 \cdot (1 - \alpha) \%$ , teda pre  $\alpha = 0,001$  je táto miera rovná 99,9 %. Wu a kol. takisto publikovali vypočítané očakávané hodnoty NPCR a UACI pre určité rozlíšenia obrazov.

## III. NAVRHNUTÉ RIEŠENIA

Počas doktorandského štúdia bolo navrhnutých viacero riešení difúzneho bloku pre obrazové šifrovacie algoritmy. Medzi významnejšie riešenia patrí blok difúzie v asymetrickom šifrovacom algoritme [8] a kombinácia dvoch blokov difúzie v algoritme [9]. Tieto riešenia budú pre účely tohto príspevku v ďalšom texte označované ako *Riešenie 1*, resp. *Riešenie 2*.

### A. *Riešenie 1*

Toto riešenie využíva Arnoldovo zobrazenie (AZ) [10], ktoré patrí k dvojrozmerným chaotickým zobrazeniam bez parametrov. AZ v každej iterácii zobrazuje body s dvojicami súradníc  $x_i$  a  $y_i$  do bodov so súradnicami  $x_{i+1}$  a  $y_{i+1}$ . *Riešenie 1* požíva bajty kľúča ako súradnice  $x_i$  a intenzity  $op$  obrazu ako súradnice  $y_i$ . Výsledné súradnice  $x_{i+1}$ , resp.  $y_{i+1}$  sa potom použijú ako bajty rozšíreného kľúča, resp. intenzity  $op$  zašifrovaného obrazu. Toto riešenie, ako aj rovnice AZ ilustruje Obr. 1.



Obr. 1 Súradnice pri AZ použitom v *Riešení 1*

Nevýhodou *Riešenia 1* je skutočnosť, že šifrovanie každého *op* otvoreného obrazu vyžaduje jeden bajt kľúča. Kvôli tomu sa postupne rozširuje kľúč bajtami, ktoré závisia od intenzít *op* otvoreného obrazu. Pri dešifrovaní je však nutné získať hodnoty posledných bajtov rozšíreného kľúča, ktoré sú odlišné od kľúča použitého pri šifrovaní. Tým pádom použitie difúzneho bloku s *Riešením 1* vedie k vytvoreniu *asymetrických* obrazových šifrovacích algoritmov. Pri niektorých aplikáciách môže byť táto vlastnosť vnímaná ako nevýhoda [8].

### B. *Riešenie 2*

Kroky tohto riešenia boli navrhované tak, aby obrazové šifrovacie algoritmy, ktoré používajú toto riešenie boli symetrické. Tieto kroky sa dajú rozdeliť do dvoch blokov:

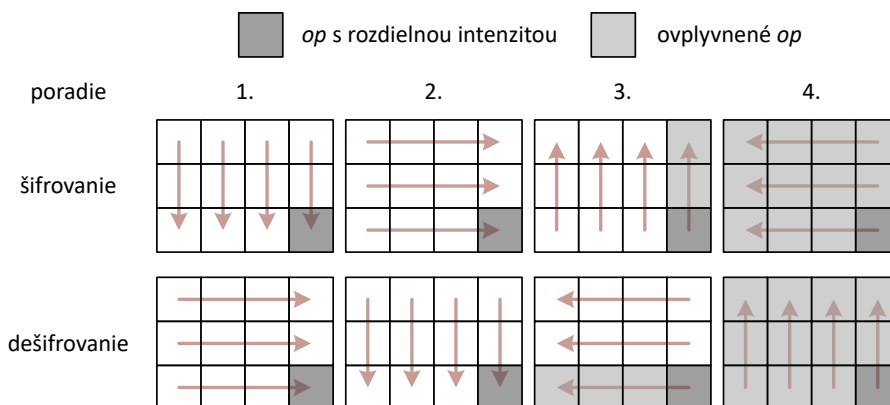
- 1) Blok “jednoduchého” reťazenia intenzít *op*.
- 2) Blok reťazenia intenzít *op* podľa intenzít *op* otvoreného, resp. zašifrovaného obrazu.

Pri šifrovaní sa tieto bloky používajú v uvedenom poradí, pri dešifrovaní je ich poradie opačné.

#### 1) Blok “jednoduchého” reťazenia intenzít *op*

V tomto bloku dochádza k vytvoreniu závislostí medzi intenzitami jednotlivých *op*. Reťazený obraz sa načítava celkovo v štyroch smeroch po vektoroch, ktoré obsahujú intenzity riadkov, resp. stĺpcov *op*. Každý načítaný vektor sa následne skombinuje s dvoma susednými vektormi. Táto kombinácia slúži na vytvorenie závislostí pri šifrovaní a zároveň aj pri dešifrovaní obrazu. Ak by kombinácia každého načítaného vektora používala iba jeden vektor, závislosti medzi intenzitami *op* by sa šírili iba pri jednej operácii (iba pri šifrovaní alebo dešifrovaní).

Kombinácia aktuálne načítaného vektora s dvoma vektormi používa dve operácie. Vektor, ktorý nasleduje v smere načítania sa skombinuje s aktuálne načítaným vektorom pomocou operácie XOR (angl. eXclusive OR) a vektor, ktorý bol načítaný pred aktuálne načítaným vektorom sa s ním skombinuje súčtom v aritmetike modulo 256. Smery načítania vektorov pri šifrovaní a dešifrovaní, ich poradie a najhoršie prípady šírenia difúzie intenzít *op* (vytvárania ich závislostí) ukazuje Obr. 2.



Obr. 2 Smery načítania vektorov intenzít *op* a najhoršie prípady šírenia ich difúzie

Ak je potrebné použiť vektor, ktorého súradnice sú mimo množiny súradníc obrazu, použijú sa korešpondujúce vektory z opačnej strany obrazu. V prípade, ak má obraz súradnice riadkov  $1, 2, \dots, h$  a súradnice stĺpcov  $1, 2, \dots, w$  a je potrebné načítať riadky 0 alebo  $h + 1$ , resp. stĺpce 0 alebo  $w + 1$ , načítajú sa riadky  $h$  alebo 1, resp. stĺpce  $w$  alebo 1.

Pri dešifrovaní sa namiesto operácie XOR a sčítania v aritmetike modulo 256 použijú inverzné operácie. Zatiaľ čo pre operáciu XOR platí vlastnosť *involúcie*, teda táto operácia je sama sebe inverznou, miesto sčítania v aritmetike modulo 256 sa použije odčítanie v tejto aritmetike.

Závislosti intenzít *op*, ktoré vzniknú pri reťazení v tomto bloku sú *lineárne*. Nelinearitu, ktorá je pri aplikáciách v oblasti šifrovania žiadúcou, zabezpečuje nasledujúci blok. Pointou bloku

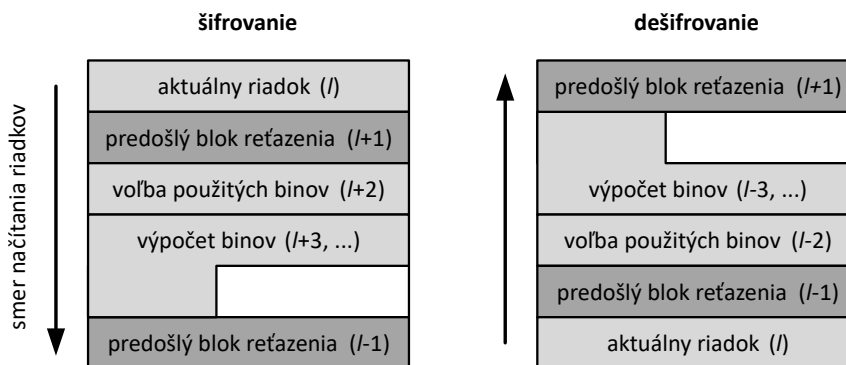
“jednoduchého” reťazenia intenzít  $op$  je len vytvorenie závislostí medzi všetkými  $op$ . V prípade diferenčného útoku a šifrovania dvojice podobných otvorených obrazov by sa aj malé rozdiely medzi týmito obrazmi mali prejavíť na intenzitách všetkých ostatných  $op$  obrazu.

2) Blok reťazenia intenzít  $op$  podľa intenzít  $op$  otvoreného, resp. zašifrovaného obrazu

V tomto bloku sa vytvára závislosť krokov obrazového šifrovacieho algoritmu na intenzitách  $op$  otvoreného, resp. zašifrovaného obrazu. Pre umožnenie dešifrovania je nutné zabezpečiť, aby boli rovnaké intenzity  $op$  získané z otvoreného obrazu pri šifrovaní a taktiež aj zo zašifrovaného obrazu pri dešifrovaní. Kvôli tomu sa obrazy v tomto bloku obrazového šifrovacieho algoritmu spracujú ako riadky intenzít  $op$ . Pri šifrovaní sa riadky intenzít  $op$  načítajú zhora nadol a pri dešifrovaní sú riadky intenzít  $op$  načítané naopak – zdola nahor. Vďaka tomuto postupu sú intenzity  $op$  v riadkoch obrazov pri načítaní jednotlivých riadkov rovnaké.

Okrem zavedenia závislostí krokov obrazového šifrovacieho algoritmu na intenzitách  $op$  je úlohou tohto bloku aj spôsobenie *nelineárnych* rozdielov medzi intenzitami  $op$  pri šifrovaní alebo dešifrovaní podobných obrazov. Keďže v predošlom bloku boli vytvorené závislosti medzi intenzitami všetkých  $op$ , tento blok nemusí načítať intenzity  $op$  vo viacerých smeroch.

Na tieto účely sa používa MoT, ktorá z intenzít  $op$  obrazu vypočíta predpisom (1) biny. Podľa intenzít iných  $op$  sa následne vyberú biny, ktoré sa operáciou XOR skombinujú s aktuálne načítaným riadkom intenzít  $op$ . Súradnice riadkov intenzít  $op$ , ktoré sa používajú na tieto kroky ukazuje pre prípady šifrovania a dešifrovania Obr. 3.



Obr. 3 Riadky použité v bloku reťazenia intenzít  $op$  podľa intenzít  $op$  otvoreného, resp. zašifrovaného obrazu

Z Obr. 3 je zjavné, že tento blok nevyužíva riadky intenzít  $op$  použité v predošlom bloku “jednoduchého” reťazenia intenzít  $op$ . Na výpočet binov MoT sa používajú riadky intenzít  $op$  so súradnicami  $l + 3$  pri šifrovaní, resp.  $l - 3$  pri dešifrovaní, kde  $l$  je súradnica aktuálne načítaného riadku. Ak tieto riadky neobsahujú aspoň 144 intenzít  $op$  použijú sa nasledujúce riadky. Intenzity  $op$  sú načítané zľava doprava. V prípade, ak súradnica riadku  $l + 3$ , resp.  $l - 3$  alebo súradnice ďalších riadkov  $l + 4, l + 5, \dots$ , resp.  $l - 4, l - 5, \dots$  sú menšie ako 1, resp. väčšie ako výška obrazu  $h$ , použijú sa namiesto nich riadky intenzít  $op$  s korešpondujúcimi súradnicami z hornej, resp. z dolnej časti obrazu  $(1, 2, \dots, h, \text{ resp. } h, h - 1, \dots, 1)$ .

Zo získaných intenzít 144  $op$  sa vypočíta 256 binov MoT. Parametre vypočítaných binov závisia od použitého kľúča, ktorý v algoritme [9] vygeneruje pomocou logistického zobrazenia dve postupnosti so 16 prvkami. Tieto prvky sú kvantované na prvky množiny  $\{0, 1, \dots, 15\}$ . Získané postupnosti sa použijú na cyklické posuny v rámci stĺpcov, resp. v rámci riadkov matice s rozmerom  $16 \times 16$  prvkov. V tejto matici sa nachádzajú prvky množiny  $\{0, 1, \dots, 255\}$  reprezentujúce parametre binov a ich poradové čísla. Vďaka preusporiadaniu matice sú teda preusporiadané aj parametre a poradové čísla binov [9]. Malá zmena intenzít  $op$  v riadku, ktorý volí biny použité na kombináciu teda spôsobí veľkú zmenu parametrov a poradových čísel binov, čo znamená zavedenie *nelinearity* do krokov obrazového šifrovacieho algoritmu [9].

Parametre binov boli zvolené tak, aby spĺňali podmienky uvedené v sekcii II-A. Okrem toho parametre binov a ich poradové čísla spĺňajú aj ďalšie dve vlastnosti:

- $|p_i| > 3$  a súčasne  $|p_i| \pmod{3} \neq 0$ , teda intenzity  $op$  použité na výpočet binov sú vybrané z iných stĺpcov a z odlišných farebných zložiek obrazu (ak je obraz farebný) [9],
- poradové čísla binov  $b$  sú volené tak, aby boli všetky biny vypočítané práve z intenzít troch  $op$ , vďaka čomu by výpočty binov mali byť rýchle (pri zachovaní pozitívnych vlastností MoT) a zároveň by tieto výpočty mali trvať približne rovnakú dobu.

Pre každý aktuálne načítaný riadok intenzít  $op$  so súradnicou  $l$  sa vypočíta 256 binov MoT s parametrami  $(p, q)$  a poradovými číslami  $b$  podľa preusporiadanej verzie Tabuľky 1. Tieto biny

Tabuľka 1  
 Parametre binov MoT a ich poradové čísla

| intenzita<br><i>op</i> | parametre<br>binov ( <i>p q</i> ) | poradové<br>číslo binu <i>b</i>  |
|------------------------|-----------------------------------|--|
| 0 až 19                | (-5 1)                            | {-56, -55, -51, -50, -46, -45, -41, -40, -36, -35, -31, -30, ..., -16, -15, -11, -10}      |
| 20 až 35               | (-5 2)                            | {-57, -55, -52, -50, -47, -45, -42, -40, -37, -35, -32, -30, -27, -25, -22, -20}           |
| 36 až 47               | (-5 3)                            | {-58, -55, -53, -50, -48, -45, -43, -40, -38, -35, -33, -30}                               |
| 48 až 55               | (-5 4)                            | {-59, -55, -54, -50, -49, -45, -44, -40}   |
| 56 až 95               | (-4 1)                            | {-47, -46, -45, -44, -43, -42, -41, -40, -39, ..., -10, -9, -8}                            |
| 96 až 119              | (-4 3)                            | {-53, -50, -49, -47, -46, -45, -44, -43, -42, -41, -40, ..., -32, -31, -30, -28, -27, -24} |
| 120 až 127             | (-4 5)                            | {-59, -55, -54, -50, -49, -45, -44, -40}   |
| 128 až 167             | (4 1)                             | {-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, ..., 34, 35, 36}            |
| 168 až 191             | (4 3)                             | {-9, -6, -5, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 20}     |
| 192 až 199             | (4 5)                             | {-15, -11, -10, -6, -5, -1, 0, 4}  |
| 200 až 219             | (5 1)                             | {-1, 0, 4, 5, 9, 10, 14, 15, 19, 20, 24, 25, 29, 30, 34, 35, 39, 40, 44, 45}               |
| 220 až 235             | (5 2)                             | {-2, 0, 3, 5, 8, 10, 13, 15, 18, 20, 23, 25, 28, 30, 33, 35}                               |
| 236 až 247             | (5 3)                             | {-3, 0, 2, 5, 7, 10, 12, 15, 17, 20, 22, 25}   |
| 248 až 255             | (5 4)                             | {-4, 0, 1, 5, 6, 10, 11, 15}   |

sa použijú na zostavenie vektora  $vek_{biny}$ . Tento vektor má rovnaký počet prvkov ako aktuálne načítaný riadok intenzít  $op$ . Biny sa do vektora  $vek_{biny}$  ukladajú podľa intenzít  $op$  v riadku so súradnicou  $l + 2$  (pri šifrovaní), resp.  $l - 2$  (pri dešifrovaní). Po získaní hodnôt vektora  $vek_{biny}$  sa aktuálne načítaný riadok intenzít  $op$  s vektorom  $vek_{biny}$  skombinuje pomocou operácie XOR.

Závislosť krokov obrazových šifrovacích algoritmov je v prípade tohto riešenia docieľená výberom parametrov a poradových čísel binov MoT podľa intenzít  $op$  v riadkoch obrazu so súradnicami  $l + 2$  (pri šifrovaní), resp.  $l - 2$  (pri dešifrovaní). Pri obrazoch s jednoduchou scénou je potrebné ich predspracovanie. Toto predspracovanie môže byť realizované napr. kombináciou s PNP alebo preusporiadaním intenzít  $op$  tak, aby intenzity  $op$  v riadkoch so súradnicami  $l$  a  $l + 2$ , resp.  $l - 2$  neboli podobné. V prípade, ak by takéto predspracovanie nebolo aplikované, mohlo by dôjsť k analýze vlastností difúzneho bloku pri reťazení podľa podobných intenzít  $op$ .

### C. Porovnanie navrhnutých riešení

Medzi prezentovanými riešeniami je viacero rozdielov. *Riešenie 1* vyžaduje použitie asymetrického kľúča, ale jeho výhodou je značná rýchlosť dosiahnutá použitím jednoduchého AZ. *Riešenie 2* je možné aplikovať v symetrických obrazových šifrovacích algoritmoch, avšak je potrebné rozdeliť reťazenie intenzít  $op$  na dva bloky, čo môže spôsobiť zníženie rýchlosti celého obrazového šifrovacieho algoritmu. Počas doktorandského štúdia bola väčšia pozornosť venovaná ďalším experimentom s *Riešením 2*, ktoré by malo umožniť vytvorenie obrazových šifrovacích algoritmov s väčším počtom aplikácií. Ako bolo už skôr spomenuté, pri tomto riešení je potrebné vhodne vybrať ďalšie bloky obrazového šifrovacieho algoritmu. Kvôli obmedzenému rozsahu tohto príspevku nie sú tieto bloky detailnejšie popísané, ich opis je možné nájsť v [9].

## IV. EXPERIMENTÁLNE VÝSLEDKY

Vplyv blokov použitých pri *Riešení 2* bol overený jednoduchým experimentom, pri ktorom sa používal obrazový šifrovací algoritmus popísaný v príspevku [9]. V tomto experimente boli postupne vytvárané varianty tohto obrazového šifrovacieho algoritmu, ktoré nepoužívali všetky bloky využívané pri difúzii intenzít  $op$ :

- *variant 1* predstavuje obrazový šifrovací algoritmus publikovaný v [9] bez zmien,
- *variant 2* nepoužíva blok reťazenia intenzít  $op$  podľa intenzít  $op$  otvoreného, resp. zašifrovaného obrazu,
- *variant 3* nepoužíva blok “jednoduchého” reťazenia intenzít  $op$ .

Pri výpočtoch hodnôt parametrov NPCR a UACI boli použité obrázky *lena*, *peppers* a *baboon* z databázy USC-SIPI [11]. Všetky uvedené obrázky mali rozlíšenie  $512 \times 512$   $op$  a farebnú hĺbku 8 bitov na  $op$ .  $Op$ , ktorý mal pri dvojici otvorených obrazov  $E_1$  a  $E_2$  odlišnú intenzitu bol zvolený na základe náhodného generovania jeho súradníc. Zmena intenzity bola vykonaná jej navýšením o jednu intenzitnú úroveň. Hodnoty NPCR a UACI uvedené v Tabuľke 2 boli získané ako aritmetické priemery zo 100 opakovaných meraní, pri každom z nich prebehol nový výber súradníc  $op$  s pozmenenou intenzitou.

Hodnoty NPCR a UACI v Tabuľke 2 poukazujú na skutočnosť, že pri použití *variantu 1* – obidvoch blokov *Riešenia 2* obrazový šifrovací algoritmus prezentovaný v príspevku [9] spĺňa

Tabuľka 2  
Získané hodnoty NPCR a UACI pri vynechaní blokov reťazenia

| parameter | variant | lena    | peppers | baboon  | očakávané hodnoty [7] |
|-----------|---------|---------|---------|---------|-----------------------|
| NPCR [%]  | 1       | 99,6111 | 99,6097 | 99,6089 | > 99,5717             |
|           | 2       | 97,8749 | 97,2263 | 97,4954 |                       |
|           | 3       | 0,0016  | 0,0014  | 0,0019  |                       |
| UACI [%]  | 1       | 33,4887 | 33,4926 | 33,4907 | (33,3115; 33,6156)    |
|           | 2       | 33,128  | 32,5977 | 32,8544 |                       |
|           | 3       | 0,0001  | 0,0001  | 0,0001  |                       |

očakávané hodnoty predstavené Wuom a kol. [7] pre úroveň významnosti  $\alpha = 0,001$ . Tým pádom zašifrované obrazy odolávajú diferenčným útokom s pravdepodobnosťou 99,9 %.

*Variant 2* takéto hodnoty NPCR a UACI už nedosahuje. Kvôli nižším hodnotám NPCR a UACI klesá aj pravdepodobnosť odolania diferenčným útokom. Pre niektoré aplikácie je postačujúca aj nižšia úroveň tejto pravdepodobnosti, avšak je potrebné si uvedomiť, že obrazový šifrovací algoritmus s takouto architektúrou by dosahoval oproti ostatným obrazovým šifrovacím algoritmom výrazne horšie výsledky.

*Variant 3* ukazuje na najväčší nedostatok samotného bloku reťazenia intenzít *op* podľa intenzít *op* otvoreného, resp. zašifrovaného obrazu. Tým je skutočnosť, že kroky tohto bloku sa vykonávajú iba v jednom smere, teda sa nešíria do celého obrazu. Z toho dôvodu sa pri zmene intenzity jedného *op* ovplyvnia už iba intenzity tých *op*, ktoré nasledujú pri načítaní, resp. intenzity tých *op*, ktoré sa skombinujú s binmi MoT, ktoré vznikli z ovplyvnených intenzít *op*.

## V. ZÁVER

Tento príspevok sa zaoberal stručným popisom dvoch riešení difúzneho bloku pre obrazové šifrovacie algoritmy. Zatiaľ čo *Riešenie 1* je výhodné z hľadiska nízkej výpočtovej náročnosti, *Riešenie 2* je univerzálnejšie, keďže je ho možné použiť aj v symetrických obrazových šifrovacích algoritmoch. Po zhodnotení vlastností oboch riešení sa príspevok ďalej venoval overeniu miery difúzie intenzít *op* spôsobenej *Riešením 2*, ktoré bolo počas doktorandského štúdia používané pri návrhu obrazových šifrovacích algoritmov častejšie.

Miera difúzie intenzít *op* bola vyhodnotená na základe hodnôt parametrov NPCR a UACI. Bolo zistené, že pri použití *Riešenia 2* v obrazovom šifrovacom algoritme [9] sú získané hodnoty NPCR lepšie ako očakávané hodnoty, resp. získané hodnoty UACI sú v intervale očakávaných hodnôt [7]. Pri snahe o zrýchlenie *Riešenia 2* vynechaním niektorého z blokov však nastáva nežiadúci pokles hodnôt NPCR a UACI.

## POĎAKOVANIE

Práca na tomto príspevku bola podporená prostriedkami z výskumných grantov KEGA 023TUKE-4/2017 a VEGA 1/0772/17.

## LITERATÚRA

- [1] J. Fridrich, Symmetric ciphers based on two-dimensional chaotic maps. V: *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 1998, roč. 8, zv. 6, s. 1259-1284. ISSN: 0218-1274. DOI: [10.1142/S021812749800098X](https://doi.org/10.1142/S021812749800098X).
- [2] C. E. Shannon, Communication theory of secrecy systems. V: *The Bell System Technical Journal*, 1949, roč. 28, zv. 4, s. 656-715. ISSN: 0005-8580. DOI: [10.1002/j.1538-7305.1949.tb00928.x](https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1949.tb00928.x).
- [3] K. Wang, W. Pei, L. Zou, A. Song, Z. He, On the security of 3D cat map based symmetric image encryption scheme. V: *Physics Letters A*, 2005, zv. 343, č. 6, s. 432-439. ISSN: 0375-9601. DOI: [10.1016/j.physleta.2005.05.040](https://doi.org/10.1016/j.physleta.2005.05.040).
- [4] G. Chen, Y. Mao, C. K. Chui, A symmetric image encryption scheme based on 3D chaotic cat maps. V: *Chaos, Solitons and Fractals*, 2004, zv. 21, č. 3, s. 749-761. ISSN: 0960-0779. DOI: [10.1016/j.chaos.2003.12.022](https://doi.org/10.1016/j.chaos.2003.12.022).
- [5] E. Solak, C. Çokal, O. T. Yildiz, T. Biyikoğlu, Cryptanalysis of Fridrich's chaotic image encryption. V: *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 2010, roč. 20, zv. 5, s. 1405-1413. ISSN: 0218-1274. DOI: [10.1142/S0218127410026563](https://doi.org/10.1142/S0218127410026563).
- [6] J.-P. Guédon, D. Barba, N. Burger, Psychovisual image coding via an exact discrete Radon transform. V: *Proceedings of International Conference on Visual Communications & Image Processing VCIP '95*, Taipei (Taiwan), apríl 1995, s. 562-572. ISBN: 978-08-1941-858-7. DOI: [10.1117/12.206765](https://doi.org/10.1117/12.206765).
- [7] Y. Wu, J. Noonan, S. Agaian, NPCR and UACI randomness tests for image encryption. V: *Journal of Selected Areas in Telecommunications*, 2011, roč. 2, zv. 4, s. 31-38. ISSN: 1925-2676.
- [8] J. Oravec, J. Turán, L. Ovseník, T. Ivaniga, D. Solus, M. Márton, Asymmetric image encryption approach with plaintext-related diffusion. V: *Radioengineering*, 2018, roč. 27, zv. 1, s. 281-288. ISSN: 1210-2512. DOI: [10.13164/re.2018.0281](https://doi.org/10.13164/re.2018.0281).
- [9] L. Ovseník, J. Turán, T. Huszaník, J. Oravec, O. Kováč, M. Oravec, An image encryption algorithm with plaintext related channining. Príspevok akceptovaný na publikáciu v *Computing and Informatics*, 2019, roč. 38, zv. 3. ISSN: 2585-8807.
- [10] V. Arnold, *Avez*, Ergodic problems of classical mechanics. New Jersey: W. A. Benjamin, 1968. 296 s.
- [11] Databáza obrazov USC-SIPI [online]. [cit. 2019-03-04]. Dostupné na internete: <http://sipi.usc.edu/database/>.

# Distributed Visualization System

<sup>1</sup>Branislav SOBOTA, <sup>2</sup>Patrik ŽAK

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

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

<sup>1</sup>branislav.sobota@tuke.sk, <sup>2</sup>patrikzak.pz@gmail.com

**Abstract** — Distributed visualization systems are a complex issue. The biggest problems are a limited number of used display units for multi-image viewing and financial expenses that come with the technology being used. The main goal of the work presented here was to design and develop a financially efficient, multi-display system without limited number of display units. This work also solves the interaction between human users and the system with sensors being used. The system was developed in the LIRKIS laboratory and it is ready to be evolved further.

**Keywords** — distributed visualization system, microcomputer, rendering, Kinect, sensors

## I. INTRODUCTION

A promotion is a very familiar term for most people. In the modern world, people are trying to promote almost everything. Whether it is services or products, people want them to be promoted as best as possible. Advertisements, trailers and many other things that serve to promote and attract people are being modernized. An interaction of people with electronic devices has become a common part. An interaction can be in the form of vision, hearing, movement, and so on. A distributed visualization system does not have to use only interaction based on vision. If more senses are used, the system is more sophisticated and more engaging and interesting for people. Such a system is used either in large corporations or smaller companies. Since this type of advertising is financially demanding, that is harder for smaller or starting companies. Particularly, these companies need financially low-cost promotion for their start.

Work with computer is a common matter. In many areas, it is necessary to use a larger display area or multiple display areas. Multiple displays are used by game developers and graphic designers for their work or players for better impression from game. In the work [1] a system for virtual reality gaming has been designed. This system is based on computers in a cluster and Client-Server communication. The functionality of the system is reliable, but the system is not easily portable and it is overall robust. There are also technologies from AMD and NVIDIA that deal with image distribution. Surround technology [2] is designed for NVIDIA graphics cards and can distribute the image to 5 monitors. It can't distribute the image to more than 5 monitors and therefore Surround technology have issue of scalability. AMD offers Eyefinity technology [3], which is a better alternative than the technology Surround. It is designed for multiple areas. Eyefinity technology allows to control the monitors separately but also as one big unit. This technology have issue of scalability too. It is limited to using 6 monitors and the graphics cards are more expensive than the Surround technology graphics cards. The issue of scalability has been solved by the work Active visualization in a multidisplay immersive environment [4]. This work uses Metabuffer. Metabuffer [5] is a device that supports a scalable number of renderers and a scalable number of imaging units. The problem of this work is a high resolution. The high resolution scene has slower frame rates. The major issues of today's distributed visualization systems are mainly portability and scalability. If large visual content is to be displayed and divided into as small as possible, there are large limitations. Almost all such systems can be connected to a limited number of display units, some of them are excessively robust and expensive. Current systems do not offer great flexibility.

The goal of development in LIRKIS laboratory (base on virtual CAVE solution [7]) is to design a system that will be scalable, portable, low cost and ready for simple addition of functionalities. However, the main goal of this work is to design a distributed visualization system that it will be interactive and it will evoke the view into the virtual window.



## II. RENDERING, COMPUTING TECHNOLOGY AND SENSORS

### A. Rendering

Rendering is an important part of the distributed visualization system. This work has focused on static 2D scenes with the ability to add dynamic 2D scenes and 3D scenes easily. In this work, three rendering tools were considered.

*Blender* is one of rendering tools. It is a free software that is mainly used as 3D modeling tool. However, this software has an implemented core with OpenGL, therefore this software could also be used for rendering. It can process 2D and 3D scenes. This software used Python script for communication with another system.

Next rendering tool is engine *Godot*. This engine is free and can be used on various platforms. It uses OpenGL for rendering. It can process 2D, 3D and 2.5D scenes. This engine is robust and it includes additional tools to create a scene. It uses C++ or GDScript for programming.

The last rendering tool is framework *LibGDX*. This framework is free and it can be used on various platforms too. It can process 2D and 3D scenes. In this framework is used OpenGL for rendering. The *LibGDX* framework is not as robust as the *Godot* engine, but it can be customized for use. It uses Java for programming.

For the distributed visualization system of this work, the *LibGDX* framework was chosen for rendering. Since this system does not need such robustness but adaptability, this framework was appropriate.

### B. Computing Technology

For the system, it was necessary to choose a suitable computing technology that it would be easier to transfer and with low cost. A laptop, desktop, or server computer was selected for the server. A laptop or desktop was selected for the client connected to the sensors. Microcomputers were selected for the clients connected to the monitors. Three microcomputers were considered.

The first considered microprocessor is *Raspberry Pi*. This microcomputer is easily available on the Slovak market and it is at a low price. It is connectable via HDMI and it has min. 1GB of memory. It can handle Full-HD resolution. It is possible to use the Linux and Windows operating systems that are modified for the microcomputer.

Next microcomputer was the *Orange Pi*. It is not easily available on the Slovak market but it is cheap. Orange Pi have HDMI output and handle Full-HD resolution like *Raspberry Pi*. It has 2GB of memory. It is possible to use Android and Linux operating systems.

The last considered microcomputer was the *ROCK64 Media Board Computer*. It is also not easily available on the Slovak market, and it is slightly more expensive than *Raspberry Pi* and *Orange Pi*. It has HDMI output and it can handle 4K resolution. Capacity of operational memory can be selected. The choice is offered with 1GB, 2GB and 4GB.

For the distributed visualization system, the *ROCK64 Media Board Computer* is the most suitable microcomputer. Because of the availability on the Slovak market, the *Raspberry Pi* microcomputer was selected for this system.

### C. Sensors

The goal of the distributed visualization system of this work is also interaction with the human/user. Since the system should evoke the view into the virtual window, it is necessary to capture the human's movement with sensors. Two devices and one project were considered.

*OpenPose* is a project that works in real time. It can record more people at a time, and it's a detailed system. You can use a normal camera. It can be used on the Linux and Windows operating systems. The project is available for non-commercial purposes.

Next considered sensor is *Kinect*. *Kinect* is a complex solution and is not costly. It can record single parts of the body. It can only be used on the MS Windows operating system. It is connectable via USB connector.

The last considered sensor was *Orbbec Astra*. *Orbbec* is similar to *Kinect*, but it can be used on the MS Windows, Linux, and Android operating system. It can be connected via USB.

*Kinect* was selected for the distributed visualization system of this work. *Kinect* is easily available and is sufficient to record the interactions needed to achieve the goals of this work.

## III. DESIGN OF THE DISTRIBUTED VISUALIZATION SYSTEM

The design of the distributed visualization system consists of a set of monitors, *Kinect*, microcomputers, laptop and main server computer. Monitors and *Kinect* are connected to microcomputers or computers and they are networked with the main server computer. The simple design is shown in Fig. 1.



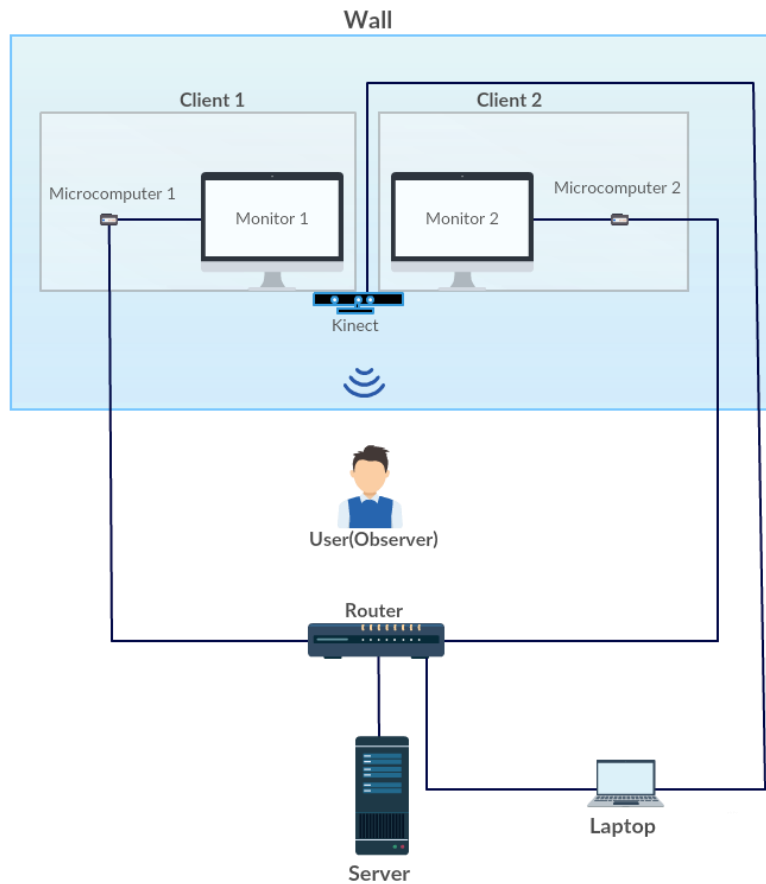


Fig. 1 Schematic system design

The distributed visualization system consists of three applications described in the implementation section. The design of system is divided into four parts: communication, processing, rendering and sensors.

#### A. Communication

The communication is based on the client-server architecture in the local network. Clients are microcomputers connected to monitors and laptop connected to Kinect. The server is a server computer. Each client and server are connected either by cable or wirelessly to the router. The router needs a static IP address setting for the server (e.g. 192.168.1.101). Port 6606 is used by the clients with monitors and port 6600 by the client with Kinect. These ports must be enabled on the router. The communication scheme is shown in Fig. 2.

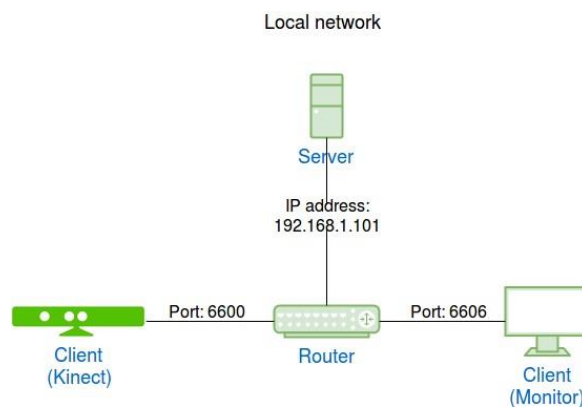


Fig. 2 Communication scheme.

### B. Processing

Processing is done on the server. When clients are connected, their resolutions are processed. The total area is calculated. The area calculation algorithm calculates the area from the first row and the first column. Monitors can be placed arbitrarily, but the total area will be calculate into a square or a rectangle shape. When you skip a monitor, its place is filled with an abstract monitor. It will have the resolution of the largest monitor. Monitors of various sizes can be used, but they must be placed into a square or rectangle shape. The example is shown in Fig. 3. The picture on the left is the area with abstract monitors, on the right is the area with monitors of varying size.



Fig. 3 Preview of monitors placement

The next processing step is cropping the scene. The scene will be sent to clients and then the server begins to crop the scene. Depending on the rectangles penetration, parameters are calculated. The parameters x, y, width and height of sub-scenes and the position where the scene is displayed on the monitor are calculated. These parameters are sent then to individual clients.

### C. Rendering

The LibGDX framework is used for rendering. Rendering is done on each of the clients connected to the monitor. After getting scene, each client waits for parameters processed on the server. A sub-scene will be created from real scene by using the LibGDX methods after obtaining the parameters. After cropping, the sub-scene will be displayed on the positions according to the obtained parameters.

The client contains three display modes. The first mode is the display of the associated identifier. The second mode is the display of identifier with the monitor position on the wall and the third mode is the scene view. Preview of display modes is on Fig. 4.



Fig. 4 Preview of display modes.

### D. Sensors

For this section, a comprehensive Kinect detection device is used. Kinect is used to capture parameters forwarded to the processing. With these parameters, the scene can change its position and it evokes for observer a view through the virtual window on the display area.

Kinect acquires position parameters of the observer's head. The reason is to change the scenes even with a slight tilt of the observer as it is in real view through the real window.

## IV. IMPLEMENTATION OF A DISTRIBUTED VISUALIZATION SYSTEM

### A. Application for server

The server application is the most important application of the system and it is implemented in Java. It is used to the whole system connection. It is the only application that is managed. For this reason, it contains a simple graphical user interface based on the JavaFX library.

This application receives either the commands from the administrator or the data from the Kinect. It processes them and it sends the processed parameters to the monitor/s. It uses mainly the Processing section and the Communication section described above.

### B. Application for client with monitor

The client application connected to the monitor is implemented in Java. This application is driven by a server application, therefore it does not need to be managed. For this reason, it has no graphical user interface. The one contact from the administrator is to turn on application or just turn on Raspberry Pi. It uses the modified version of the LibGDX.

This application receives the real scene from the server, it stores this and then receives the processed parameters from the server. According to these parameters, it renders the scene. It uses mainly the Rendering section and the Communication section described above.

### C. Application for client with Kinect

The client application connected to Kinect is also implemented in Java. Similarly to the previous client, this is also managed by a server application. It does not contain graphical user interface. It is enough in the case of turning on application by administrator or it turns on just the laptop. The application uses the library UFDW [6] for communication with Kinect.

This application only sends the observer position parameters after connecting to the server. It uses mainly the Sensors section and the Communication section described above.

## V. EXPERIMENTS

### A. Using a computer and a microcomputer Raspberry Pi

Two laptops, one microcomputer and two different monitors were used for this test. Monitors had the same size but different resolution. On one of the computers, the server was started and on the other computer, a client with a connected monitor was started. At the microcomputer, a client with a connected monitor was also started. This test tested the operation of the Raspberry Pi and the computer together. The result of the test can be seen in Fig. 5.



Fig. 5 Preview of monitors when viewing scenes.

In Figures, the right monitor is connected to Raspberry Pi and left monitor to a normal computer. As you can see the displayed scenes are divided exactly. There are no differences between using the Raspberry Pi and a normal computer.

### B. Using four monitors

This test consists of one server and four clients connected to monitors. Monitors were of the same size and resolution. This test tested the scalability of the system. The Fig. 6 shows the initialization of the monitors. They are shown only with the identifier on the left side. On the right side, they are shown with the identifier and the position.



Fig. 6 Preview of four monitors during initialization.

When the monitors initialized, a test of three different scenes was started. The test result can be seen in Fig. 7.



Fig. 7 Preview of four monitors when viewing scenes.

From this test, the scalability of the system was proven. The system is possible to connect almost unlimited clients. Restriction is only in memory devices to which monitors are connected, and the need to use high resolution scenes.

## VI. CONCLUSION

This work dealt with the issue of distributed visualization systems and proposed a solution that could be further developed. This system provides a basis for use in various areas. The major issue of scalability and portability has been resolved and tested in experiments. Upon further development of this work, it would be useful to use the OpenPose project and the ROCK64 Media Board Computer. This work deals with static 2D scenes at the time of development. At the current time, it can process dynamic 2D scenes and is ready to add 3D scenes. This system can increase visualization part of virtual CAVE system in LIRKIS laboratory and it can be usable as a visualization system for handicapped children classroom.

## ACKNOWLEDGMENT

This work has been supported by the KEGA grant No. 035TUKE-4/2019: „Virtual-reality technologies and handicapped people education“.

## REFERENCES

- [1] J.-D. Choi, K.-J. Byun, B.-T. Jang, and C.-J. Hwang, “A synchronization method for real time surround display using clustered systems,” in Proceedings of the Tenth ACM International Conference on Multimedia, ser. MULTIMEDIA
- [2] New York, NY, USA: ACM, 2002, pp. 259–262. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/641007.641059>
- [3] NVIDIA, “NVIDIA Surround Best Practices Guide,” user guide. [Online]. 2010 [cit. 2019-5-4]. Available: <http://developer.download.nvidia.com/whitepapers/2010/SurroundBestPracticesGuide.pdf>
- [4] AMD, “AMD Eyefinity Multi-Display Technology,” whitepaper. [Online]. 2012 [cit. 2019-5-6]. Available: [https://www.amd.com/Documents/EyefinityMultiDisplay whitepaper.pdf](https://www.amd.com/Documents/EyefinityMultiDisplay%20whitepaper.pdf)
- [5] W. Blanke and C. Bajaj, “Active visualization in a multidisplay immersive environment,” in Proceedings of the Workshop on Virtual Environments 2002, ser. EGVE '02. Aire-la-Ville, Switzerland, Switzerland: Eurographics Association, 2002, pp. 103–ff. [Online]. Available: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=509709.509726>
- [6] W. Blanke, R. Bajaj, D. Fussell, and X. Zhang, “The metabuffer: A scalable multiresolution multidisplay 3-d graphics system using commodity rendering engines,” 11 2000.
- [7] A. Bampoutis, “Tensor body: Real-time reconstruction of the human body and avatar synthesis from rgb-d,” IEEE Transactions on Cybernetics, vol. 43, no. 5, pp. 1347–1356, Oct 2013.
- [8] M. Hudák, Š. Korečko, B. Sobota: “On Architecture and Performance of LIRKIS CAVE System“, in 8th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications, Debrecen, 2017, pp. 295-300.

# Analýza vplyvu zmeny reflektora špirálovej antény pracujúcej na 5,2GHz aplikovateľnej v experimentálnom FSO/RF systéme

<sup>1</sup>Michal MÁRTON, <sup>2</sup>Luboš OVSEŇÍK, <sup>3</sup>Ján TURÁN, <sup>4</sup>Michal ŠPES, <sup>5</sup>Jakub URBANSKÝ.

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

<sup>4,5</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, <sup>5</sup>jakub.urbansky@tuke.sk

**Abstrakt** — Žijeme vo veku inovácií. Sme obklopení množstvom komunikačných technológií. Offline zariadenia sa stali zbytočnými, pretože v aktuálnom čase neponúkajú relevantné údaje. Používatelia chcú byť pripojení k sieti a komunikovať s ostatnými používateľmi. V posledných rokoch sa musia zariadenia primárne neurčené na komunikáciu postupne optimalizovať na zariadeniach s využitím nových technológií, čo im umožní komunikovať medzi sebou alebo naprieč rôznymi platformami. Sme obklopení množstvom inteligentných technológií (inteligentné hodinky, inteligentné okuliare, inteligentné náramky atď.). Musíme reagovať na dopyt používateľov a ich zariadení, ktoré je potrebné pripojiť do siete. Rozšírenie takýchto systémov bolo podporené vynálezom optického vlákna ako prenosového média. Optické vlákna sú schopné dosiahnuť vysokú prenosovú rýchlosť a prenosy na dlhé vzdialenosti. Prenos optických lúčov prostredníctvom voľného prostredia je myšlienka skúmaná a analyzovaná mnohými výskumnými skupinami. Systém FSO (Free Space Optics) je považovaný za hlavného reprezentanta optických bezvláknových komunikačných systémov. Realizovali sme model experimentálneho FSO systému v areáli Technickej univerzity v Košiciach. Na základe poznatkov a skúseností o FSO sme sa rozhodli navrhnuť a následne implementovať záložnú linku pre tento systém, pretože optické lúče sú citlivé na zmeny počasia. Hlavným bodom tejto práce je porovnanie niekoľkých konštrukcií špirálových antén 5,2 GHz vhodných pre náš experimentálny FSO/RF systém.

**Kľúčové slová** — FEKO, FSO/RF hybridný systém, špirálová anténa

## I. ÚVOD

Komunikačné systémy sa dnes rozširujú v mnohých oblastiach. Výskumné skupiny sa zameriavajú na zlepšenie možností komunikácií a konektivity. K dispozícii sú dva prístupy. Prvý prístup je zameraný na zlepšenie dostupnosti komunikačného systému optimalizáciou prenosového kanála. Druhý prístup je zameraný na použitie odlišného spôsobu prenosu s použitím odlišných prenosových kanálov. Systémy FSO majú mnoho výhod, ako je široká šírka pásma zabezpečená optickým atmosférickým prenosom a vysoká úroveň bezpečnosti. Útok na komunikačný kanál za účelom odpočúvania môže spôsobiť stratu konektivity. Systém FSO pracuje v nelicencovanom frekvenčnom pásme bez potreby špeciálnych povolení na strane druhej, tento systém má však aj niektoré nevýhody. Hlavnou nevýhodou je citlivosť na zmeny počasia. Počasie ovplyvňuje prenos optických lúčov, pretože prenosový kanál je atmosférický so všetkými nehomogenitami, ktoré spôsobujú rušenie. V areáli Technickej univerzity v Košiciach sme realizovali takýto systém FSO. Naše optické spojenie pozostáva z jedného páru optických hláv umiestnených tak, aby bola splnená podmienka priamej viditeľnosti. Vzdialenosť medzi optickými hlavami je asi 400m [1-5].

## II. NÁVRH ŠPIRÁLOVEJ ANTÉNY

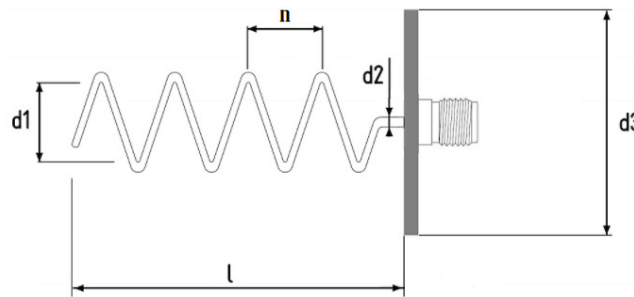
Na základe predchádzajúceho výskumu v danej oblasti bol zvolený typ špirálovej antény ako aktívneho prvku záložnej linky. Výber zohľadňoval nasledujúce požiadavky ako vysoký zisk, vysoká smerovosť antény, pracovná frekvencia z rozsahu nelicencovaných frekvenčných pásiem. Jedným z parametrov bola možnosť implementovať záložnú RF linku v spojeniach zem – vzduch, pretože vývoj v oblasti komunikačných technológií pre komunikácie zem - vzduch umožnil implementáciu technológie FSO aj pre tento typ spojenia. Na základe požiadaviek na anténu bola nami zvolená špirálová anténa. Špirálové antény dosahujú zisk rádovo viac ako 9dBi s vysokou smerovosťou. Polarizácia špirálovej antény je kruhová, pričom smer navinutia vodiča určuje typ polarizácie.

Nakoľko FSO systém pracuje v nelicencovanom pásme bolo nevyhnutnou podmienkou uvažovať nelicencované frekvenčné pásmo aj pre záložnú RF linku. Zvolené bolo pásmo 5.2GHz v súčasnosti používané aj pre wifi služby. Vlastnosti referenčnej špirálovej antény sú vyjadrené prostredníctvom Tabuľky 1. Naším cieľom je pozorovať vplyv zmeny veľkosti špirálovej antény na jej vlastnosti.

Tabuľka 1 Parametre referenčnej špirálovej antény

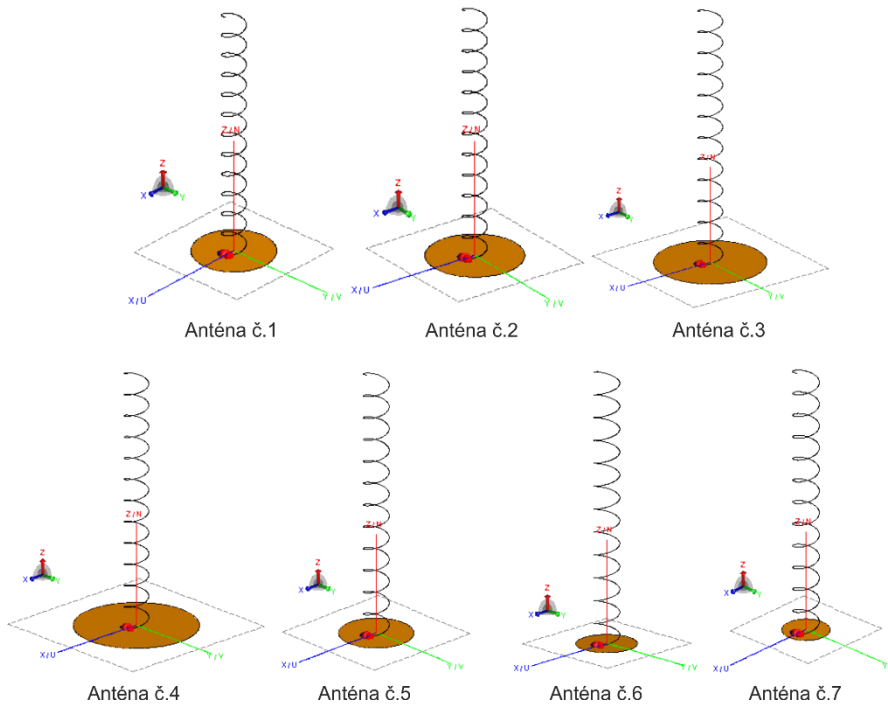
| Označenie | Parameter                | Popis       |
|-----------|--------------------------|-------------|
| $f$       | Frekvencia               | 5,2GHz      |
| $N$       | Počet závitov            | 5           |
| $d1$      | Priemer špirály          | 44mm        |
| $d2$      | Priemer vodiča špirály   | 2mm         |
| $d3$      | Priemer reflektora       | 62mm        |
| $l$       | Celková dĺžka špirály    | 122mm       |
|           | Typ kruhovej polarizácie | ľavostranná |

Parametre navrhutej špirálovej antény uvedené v Tabuľke 1 sú zobrazené v Obr. 1, pričom rozmery antény boli získané výpočtom. Pri uvažovaní nami zvolených parametrov by bolo možné získať zisk modelovanej špirálovej antény v okolí 12-13dBi.



Obr. 1 Parametre modelovanej špirálovej antény

Model navrhutej špirálovej antény je zobrazený na Obr. 2, pričom obrázky pochádzajú z návrhového prostredia CAD FEKO určeného na modelovanie antény a ich analýzu. Na základe parametrov antény bol vytvorený tento model, ktorého napájanie uvažujeme prostredníctvom SMA konektoru s impedančným prispôbením 50Ω.



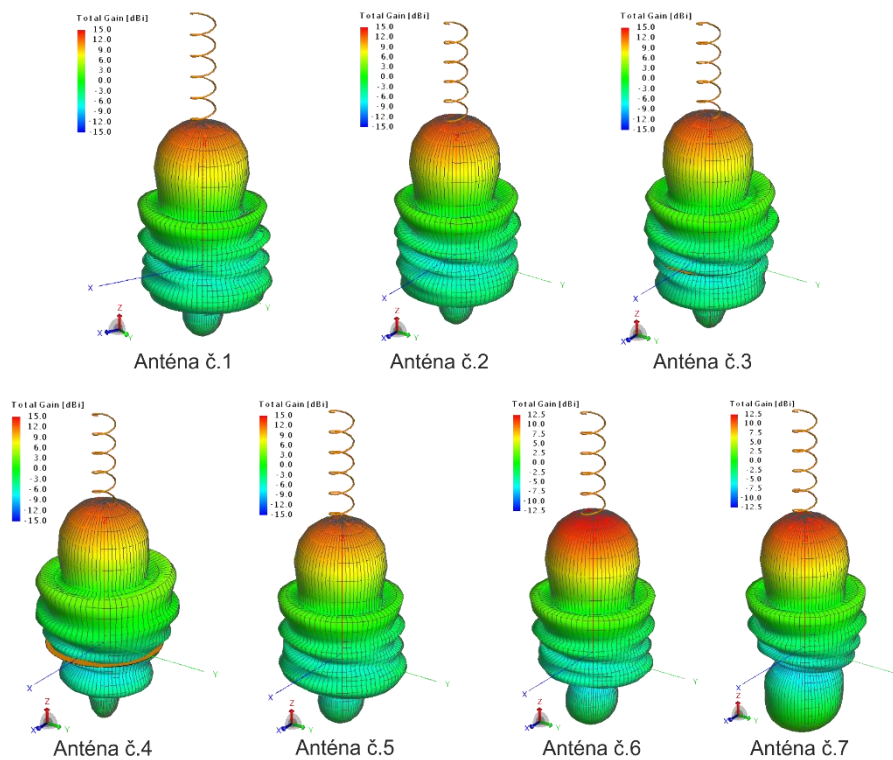
Obr. 2 Navrhnuté modely špirálových antén

Tabuľka 2 Zmena reflektora špirálovej antény

| Označenie         | Priemer reflektora |
|-------------------|--------------------|
| <i>Anténa č.1</i> | 6.346              |
| <i>Anténa č.2</i> | 7.346              |
| <i>Anténa č.3</i> | 8.346              |
| <i>Anténa č.4</i> | 9.346              |
| <i>Anténa č.5</i> | 5.346              |
| <i>Anténa č.6</i> | 4.346              |
| <i>Anténa č.7</i> | 3.346              |

V tabuľke 2 sú zobrazené hodnoty reflektora špirálovej antény prislúchajúcej k modelom zobrazených na Obr. 2.

Vyžarovacie charakteristiky navrhnutých antén sú zobrazené na Obr. 3 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. Maximálna hodnota 13dBi korešponduje s hodnotou získanou výpočtom pre maximálny zisk navrhnutej antény.



Obr. 3 Vyžarovacia charakteristika navrhnutej antény pre frekvenciu 2,4GHz

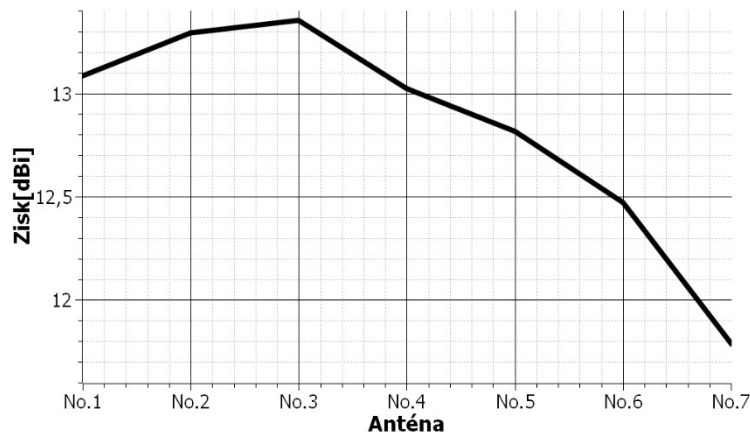
Prehľad hodnôt ziskov získaných prostredníctvom simulácií je zobrazený v tabuľke 3.

Tabuľka 3 Dosiahnuté hodnoty zisku špirálovej antény

| Označenie         | Hodnota zisku | Hodnota zisku [dBi] |
|-------------------|---------------|---------------------|
| <i>Anténa č.1</i> | 20.3476       | 13.0851             |
| <i>Anténa č.2</i> | 21.3475       | 13.2935             |
| <i>Anténa č.3</i> | 21.6401       | 13.3526             |
| <i>Anténa č.4</i> | 20.0586       | 13.023              |
| <i>Anténa č.5</i> | 19.1266       | 12.8161             |
| <i>Anténa č.6</i> | 17.6674       | 12.4717             |
| <i>Anténa č.7</i> | 15.1044       | 11.791              |

Priebeh ziskov pre jednotlivé antény je zobrazený na Obr. 4.





Obr. 4 Zisk jednotlivých antén

Prehľad ostatných získaných hodnôt simulovaných antén je uvedený v tabuľke 4. Sú tam uvedené hodnoty zmien vyžarovacích uhlov pri poklese výkonu o 3dB v smere  $\Phi = 0^\circ$  a  $\Phi = 90^\circ$  označených ako HPBW (Half Power Beam Width). V tejto tabuľke sú tiež uvedené hodnoty maximálneho vyžiareného výkonu v dvoch jednotkách a tiež pomer postranného vyžarovania označeného ako SLL (Side Lobe Level).

Tabuľka 4 Ďalšie parametre špirálovej antény

| Označenie  | HPBW - $\Phi = 0^\circ$ | HPBW - $\Phi = 90^\circ$ | Výkon [mW] | Výkon [dBW] | SLL [dB] |
|------------|-------------------------|--------------------------|------------|-------------|----------|
| Anténa č.1 | 34.9596°                | 34.856°                  | 4.95197    | -23.0522    | 10.74    |
| Anténa č.2 | 33.928°                 | 33.8198°                 | 4.9928     | -23.0166    | 11.3573  |
| Anténa č.3 | 32.8594°                | 32.7449°                 | 4.95596    | -23.0487    | 11.1156  |
| Anténa č.4 | 32.7598°                | 32.5752°                 | 4.88396    | -23.1123    | 9.47339  |
| Anténa č.5 | 35.7962°                | 35.6773°                 | 5.03702    | -22.9783    | 10.5252  |
| Anténa č.6 | 36.5132°                | 36.3535°                 | 4.98735    | -23.0213    | 10.1055  |
| Anténa č.7 | 37.0612°                | 36.8921°                 | 4.91923    | -23.081     | 9.37469  |

### III. ZÁVER

Príspevok je zameraný na skúmanie vplyvu priemeru reflektora antény špirály. Pre náš návrh sme zvolili frekvenciu 5,2 GHz z nelicencovaného frekvenčného rozsahu. Anténa č.3 má najväčšiu hodnotu zisku: 21,6401 (13,3526 dBi). HPBW antény dosiahla anténa č.4 pre  $\Phi = 0^\circ$  vyjadrené hodnotami 32,7598° a 32,5752° pre  $\Phi = 90^\circ$ . Pre nelicencované použitie je veľmi dôležitým parametrom maximálna hodnota vyžarovaného výkonu. Prahová hodnota pre danú frekvenciu (5,2 GHz) je 20 mW. Maximálna hodnota vyžarovaného výkonu bola získaná pre anténu č.5 s hodnotou 5,03702 mW (-22,9783 dBW). Posledným skúmaným parametrom bola úroveň postranného vyžarovania (SLL), ktorá ukazuje pomer medzi hlavným lalokom a najväčším bočným lalokom. Maximálna hodnota zisku bola dosiahnutá pre anténu č.2 rovná 11,3573 dB.

### POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná projektom VEGA 1/0772/17, KEGA 023TUKE-4/2017 a APVV-17-0208.

### LITERATÚRA

- [1] M. Márton, E. Ovseník, M. Špes, "Measurement effect of visibility in experimental FSO system" In: *Informatics 2017*. - Danvers: IEEE, p. 249-252. - ISBN 978-1-5386-0888-3, 2017
- [2] M. Márton, E. Ovseník, J. Turán, M. Špes, "Design and analysis of microstrip antenna for 2.46GHz in Program Suite FEKO" In: *Carpathian Journal of Electronic and Computer Engineering*. Vol. 10, no. 1, p. 31-34, ISSN 1844 – 9689, 2017
- [3] M. Márton, E. Ovseník, J. Turán, M. Špes, "Design of antenna in program environment FEKO" In: *Annals of Faculty Engineering Hunedoara - International Journal of Engineering*. Vol. 15, no. 1, p. 169-174. - ISSN 1584-2665, 2017
- [4] J. Tóth, E. Ovseník, J. Turán, L. Michaeli, M. Márton, „Classification prediction analysis of RSSI parameter in hard switching process for FSO/RF systems“ In: *Measurement*, vol. 116, pp. 602-610, 2018
- [5] M. Márton, E. Ovseník, J. Turán, M. Špes, „Design of helix antenna for 2.4GHz applicable in FSORF hybrid system“ In: *MIPRO 2018*, Rijeka, p. 469-472., ISBN 978-953-233-096-0 2018

# Metódy analýzy transakčných dát

Anna BICEKOVÁ, Ludmila PUSZTOVÁ

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Technická univerzita v Košiciach  
Letná 9/B, 042 00

anna.bicekova@tuke.sk, ludmila.pusztova.2@tuke.sk

**Abstrakt** — Cieľom príspevku je pomocou transakčných dát z e-shopu zistiť nákupné správanie zákazníka, na základe ktorých bude môcť obchodník aplikovať rôzne marketingové stratégie v podniku. Príkladom takejto stratégie môže byť vhodné umiestnenie potravín na predajni, rozloženie uličiek a oddelení, nastavenie zliav a pod. Na získanie týchto informácií bola použitá technika dolovania v dátach – zhlukovanie. Správnosť cieľa práce a použitých metód overuje analýza súčasného stavu, v ktorej sú popísané rôzne štúdie zaoberajúce sa analýzou transakčných dát, pričom používajú rovnakú alebo podobnú vzorku dát. Analýza dostupnej vzorky je riadená metodikou CRISP-DM, ktorá patrí medzi najpoužívanejší prístup pre proces dolovania v dátach. V rámci tejto metodiky sme sa zamerali hlavne na pochopenie dát z pohľadu exploračnej analýzy.

**Kľúčové slová** — transakčné data, dolovanie v dátach, zhlukovanie

## I. ÚVOD

V súčasnej dobe ľudia čoraz viac využívajú služby internetových obchodov. Online nakupovanie poskytuje zákazníkom viacero výhod, no hlavne možnosť vytvorenia nákupu bez potreby nachádzania sa priamo v maloobchode, respektíve vo veľkom preplnenom obchodnom centre. V pohodlí domova si ľudia dokážu nakúpiť a objednať tovar, ktorý chcú alebo nevyhnutne potrebujú, čím ušetria čas, ktorý môžu využiť efektívnejšie. Zákazníci si radi prezerajú rôzny tovar, ktorý e-shop ponúka a hľadajú informácie o jednotlivých produktoch. Ak ich niečo zaujme, sú odhodlaní daný produkt kúpiť. Internetové obchody sú čoraz viac populárnejšie, čo je dôsledkom vývoja nových inteligentných technológií. Na druhej strane, majitelia takýchto internetových obchodov potrebujú vedieť, ako sa títo zákazníci správajú a čo najradšej nakupujú. Výsledkom každého nákupu zákazníka sú tzv. *transakčné data*. Transakčné údaje môžu zahŕňať nákupy, platby, debety, hotelové rezervácie, zaplatené úroky a ešte oveľa viac informácií. Napríklad, keď zákazník vstúpi do obchodu s rýchlym občerstvením a objedná si pizzu je pravdepodobné, že môže zaplatiť kreditnou alebo debetnou kartou. Informácie z bankomatovej karty zachytáva príslušná banka a zaznamenáva ich ako transakciu.

Hlavným cieľom tejto práce bola podpora majiteľa e-shopu z hľadiska nákupného správania zákazníka. Poznaním preferencií zákazníka môže majiteľ obchodu využiť svoj potenciál a ponúkať produkty, ktoré sú najžiadanejšie a následne zvýšiť svoj zisk z predaja. Dáta zvolené pre túto úlohu sú voľne dostupné a obsahujú informácie o tom, ako zákazníci nakupovali a aké transakcie vykonali. Medzi zakúpeným tovarom boli rôzne produkty, ktoré môžeme nájsť aj v bežnom supermarkete, avšak predovšetkým potraviny. Celý proces analýzy dát bol riadený metodológiou CRISP-DM, ktorá je predstavená v 2.kapitole. Následne 3.kapitola obsahuje analýzu dostupných dát pomocou tejto metodiky. V závere príspevku sú zhrnuté rôzne zistenia a ich potencionálne využitie v praxi.

Pred samotnou analýzou vzorky smesa však prvotne zamerali na popis podobných prác, ktoré sa venujú aplikácii metód dolovania typických pre prácu s transakčnými dátami.

Prvou z popísaných prác je „3 Million Instacart Orders, Open Sourced“ [1] od spoločnosti, ktorá sprístupnila dáta použité aj v tejto práci. Analýzou týchto dát zistili, že zákazníci nakupujú najčastejšie medzi 8:00 – 18:00 hodinou. Najobľúbenejší deň na nákupy bola nedeľa a ľudia si objednávali väčšinou po jednom týždni od poslednej objednávky. V košíku objednávok sa považšine nachádzalo päť produktov, pričom víťazom najpredávanejšieho produktu sa stal banán.

V štúdií [2] boli testované a analyzované transakčné dáta Business Centre (BC) UIN Malang. Autori vytvorili desktopovú aplikáciu, ktorá bola schopná spracovávať existujúce transakčné dáta. Z toho vyplýva, že vývoj a implementácia analýzy nákupného košíka pomocou asociačných pravidiel používajúcich apriori algoritmus funguje správne. Získaná priemerná hodnota

spoľahlivosti bola 46.69% a hodnota podpory 1,78%, pričom vygenerovali 30 pravidiel. Zistili, že vzorec transakčných dát, ktorý bol vytvorený má nízku tendenciu asociácie.

Štúdia [3] skúmala možnosti zlepšenia kvality systému odporúčaní pre supermarkety, ktoré predávali potraviny. Navrhli integračnú schému, ktorá umožňovala aby sa systém zdrojov pre použitie údajov na odporúčanie prispôbil existujúcemu systému. Ich navrhovaná schéma bola založená na niekoľkých metódach analýzy nákupného košíka ako sú asociačné pravidlá, filtrovanie spolupráce a zhľukovanie. Pre analýzu pomocou týchto metód používali dve vzorky súborov, ktoré obsahovali transakčné dáta s údajmi zákazníkov nakupujúcich v supermarketoch. Pri zhľukovaní dátový súbor analyzovali s cieľom určiť, ktoré príkazy súboru údajov sú vhodnejšie na použitie alebo zlepšenie. Zhľuky boli vytvorené pomocou algoritmu K-means v programe R-studio. Pri asociačných pravidlách sa systém odporúčaní skladal z dvoch objektov, ktoré slúžili na poskytnutie odporúčaní. Najprv našli množiny položiek, ktoré sa často vyskytovali v súbore údajov o transakciách s podporou viac ako minimálny prah podpory nastavený používateľom. Definovali dve metriky na vyhodnotenie kvality vytvorených experimentov, ktoré porovnávali pôvodné a prispôbené systémy odporúčaní. Výsledky analýzy ukázali na schopnosť zlepšiť kvalitu systému odporúčaní pomocou ďalších údajov.

V práci [4] boli použité dáta, ktoré obsahovali informácie o transakciách. Súbor údajov použitý v tejto práci bol rovnaký ako náš. Hlavnou úlohou bolo vytvorenie systému odporúčaní, ktorý mohol zákazníkom odporučiť produkty na základe ich nákupného správania. Na splnenie tohto cieľa použili zhľukové algoritmy. Údaje skúmali pomocou vytvoreného programu pre hlbšie porozumenie, avšak načítali len čiastočnú množinu údajov, ktorú zahŕňali deň v týždni a čas dňa, kedy bola každá objednávka zadaná. Na vytvorenie zhľukov produktov museli vytvoriť novú sieť produktov, z ktorých každý produkt bol spojený s iným výrobkom na základe určitého opatrenia. Po vytvorení tejto siete aplikovali algoritmus na generovanie zhľukov produktov, ktoré zoskupovali najčastejšie spolu nakupované produkty. Zistili, že približne 97% párov výrobkov bolo zakúpených spoločne vo viac ako 10 objednávkach. Vytvorili pár zhľukovacích modelov ako napríklad oddelenia a ich úzke spojenie, komunity v rámci oddelení. Vytvorili taktiež aj aplikáciu, v ktorej bolo možné analyzovať a vizualizovať údaje.

## II. DOLOVANIE V DÁTACH

Dolovanie v dátach (Data mining – DM) je pojem, ktorý zastrešuje širokú škálu techník použitých v rôznych odvetviach. Profesor Berka v knihe „Dobývání znalostí z databází“ [1] píše o data miningu ako o kroku, ktorý zahŕňa aplikáciu vybraných analytických metód pre vyhľadávanie zaujímavých vzťahov o dátach. Ide o pojem z oblasti Business Intelligence (BI), kde tieto vzory a vzťahy môžu byť použité na predikciu správania sa zákazníka. Pri analýze vzoriek dát sa používajú rôzne metodiky.

V našom prípade sme použili metodiku **CRISP-DM**, ktorá patrí medzi najpoužívanejší prístup pre proces dolovania v dátach a poskytuje prehľad o celom životnom cykle analytického projektu. Využitelnosť tejto metodiky sa primárne orientuje na rozsiahle projekty, kde pomáha správne viesť celé analytické projekty *rýchlejšie, efektívnejšie a s použitím menej finančných prostriedkov*. Okrem návrhu postupu ponúka aj sprievodcu nad potenciálnymi problémami a riešeniami, ktoré sa môžu vyskytovať v reálnych úlohách. Celý postup metodiky vieme popísať pomocou 6 krokov, konkrétne [6]:

- A. *Pochopenie cieľa* - v tejto úvodnej fáze je potrebné zamerať sa na pochopenie cieľov a požiadaviek úlohy. Toto pochopenie cieľov je z *pohľadu manažéra*, preto by sme mali posúdiť aktuálnu situáciu a zdefinovať si kritéria úspešnosti. Nesmieme zabúdať na stanovenie technickej verzie cieľov a kritérií z *pohľadu DM* a stanoviť si predbežný plán.
- B. *Pochopenie dát* - tvorí základné kroky ako *zber dát* a ich *popis*. Cieľom tejto fázy je získať náhľad nad dátami, s ktorými budeme pracovať. Získavame základnú predstavu o dátach. Posudzujeme kvalitu dát, význam atribútov a vzťahy medzi nimi, prehľadové charakteristiky, jednoduché štatistické analýzy, ktoré spadajú do prieskumu dát. Súčasťou je aj *verifikácia kvality dát* (analýza chýbajúcich hodnôt alebo anomálií).
- C. *Príprava dát* – táto fáza zahŕňa *integráciu dát, selekciu, čistenie, konštrukciu a formátovanie dát*. Jednotlivé možnosti prípravy dát sa zvyčajne vykonávajú opakovane a v rôznom poradí. V tejto fáze prebieha výber hlavného atribútu ale aj výber jednotlivých záznamov použitých v analytickej úlohe.
- D. *Modelovanie* – v tejto fáze sa uskutočňuje výber a aplikácia rôznych modelovacích techník DM. Je to interaktívna činnosť. Hlavnou úlohou je výber techniky DM. V našom prípade sme zvolili metódu *zhľukovania* pomocou algoritmu K-means. V niektorých prípadoch je taktiež dôležité v rámci tohto kroku aj rozdelenie dostupnej množiny na tréningovú a testovaciu množinu. Niekedy pri tejto fáze dochádza k potrebe vrátenia sa k predchádzajúcim fázam, a to predovšetkým k príprave dát a ich modifikácii.
- E. *Vyhodnotenie* - dochádza k vyhodnoteniu získaných znalostí. Tieto znalosti je však nutné vyhodnotiť z pohľadu manažéra, pre ktorého sú tieto znalosti určené a ktorý určí,

či došlo k splneniu všetkých cieľov definovaných v zadanej úlohe. Taktiež sa kontroluje správnosť aplikácie celého procesu a stanovujú sa nasledujúce kroky ako nasadenie, ukončenie alebo reštart.

- F. *Nasadenie* - v procese nasadenia dochádza k sumarizácii výsledkov. Vytvára sa plán nasadenia do praxe s plánom pre monitorovanie a udržiavanie aplikácie. Výstupy DM úlohy môžu byť vo forme záverečnej správy o dosiahnutých výsledkoch alebo vo forme softvérového riešenia. Posledným bodom v tejto konečnej fázy je posúdenie projektu a jeho celkové vyhodnotenie.

### III. ANALÝZA TRANSAKČNÝCH DÁT

Nasledujúca časť práce sa venovala analýze zvolených dát pomocou vybraných metód dátovej analytiky, ktoré boli spracované pomocou programovacieho jazyka R. V tejto časti bola použitá metodika CRISP-DM, ktorá zahŕňala spomenutých 6 fáz. Vo fáze modelovania sme pracovali s metódou zhlukovania.

#### A. Pochopenie cieľa

Majitelia internetových obchodov ako aj klasických kamenných predajní si čoraz viac uvedomujú, že ľudia preferujú online nakupovanie. Aby títo majitelia vedeli, čo takýmto zákazníkom ponúknuť, analyzovali sme dátovú vzorku, ktorá obsahuje transakčné dáta z e-shopu.

Pred samotou analýzou bolo potrebné stanoviť si ciele.

- Z **biznis pohľadu** bolo dôležité zistiť nákupné správanie sa zákazníka, ktoré majiteľ e-shopu vie použiť napr. pri vhodnom umiestnení potravín v predajni, rozmiestnenie potravín podľa farby, strategické rozloženie uličiek a oddelení, časté zmeny organizácie uličiek a oddelení, nastavenie umelých výhodných zliav.
- Z **pohľadu dolovania v dátach** bolo potrebné aplikovať metódy zhlukovania na zistenie, ktoré produkty si zákazníci najčastejšie nakupujú, ktoré produkty sa najčastejšie nakupujú spolu, v akom čase zákazníci najčastejšie vytvárajú objednávky atď.

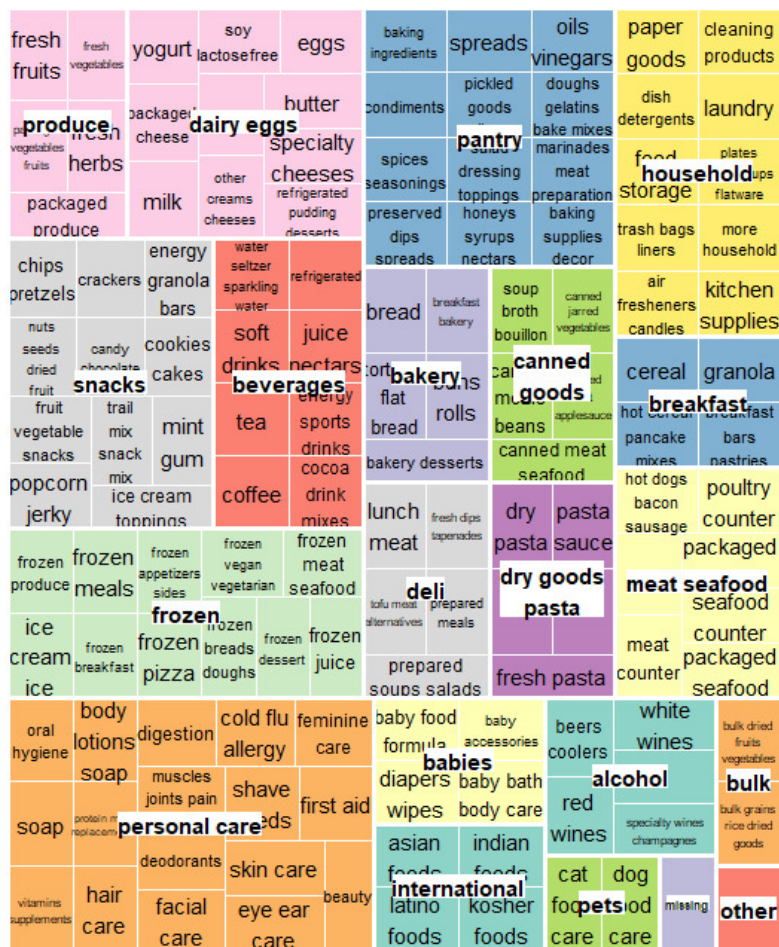
#### B. Pochopenie dát

Zvolené dáta [7] pochádzali z voľne dostupnej databázy od spoločnosti Instacart, ktorá sa venuje predaju a dodávaniu potravín. Táto spoločnosť zbierala informácie o používateľských objednávkach. Všetci používatelia v dátovej vzorke boli anonymní v súlade s ochranou osobných údajov. K dispozícii sme mali týchto 6 súborov obsahujúcich vyše 3,4 milióna záznamov, popísaných rôznymi atribútmi :

- **Orders.csv** - tento súbor obsahoval zoznam všetkých vytvorených objednávok, avšak bez popisu objednaného produktu. Súbor bol zložený zo šiestich atribútov, konkrétne: *order\_id* (ID objednávky), *user\_id* (ID zákazníka), *order\_number* (číslo objednávky), *order\_dow* (), *order\_hour\_of\_day* (čas vytvorenia objednávky), *days\_since\_prior\_order* (deň vytvorenia objednávky).
- **Order\_products\_train.csv** - súbor informoval o základných informáciách produktu objednávky. Obsahoval atribúty *order\_id* (ID objednávky), *product\_id* (ID produktu), *add\_to\_cart\_order* (poradie vloženia produktu do košíka), *reordered* (popisuje informáciu, či bol product opätovne objednaná alebo nie).
- **Order\_products\_prior.csv** - obsahuje rovnaké atribúty ako súbor *Order\_products\_train.csv* (*order\_id*, *product\_id*, *add\_to\_cart\_order* a *reordered*).
- **Products.csv** – súbor informoval o umiestnení daného produktu v predajni. Obsahuje atribúty *product\_id* (ID produktu), *product\_name* (názov produktu), *aisle\_id* (ID uličky, v ktorom sa product nachádza), *department\_id* (ID oddelenia, v ktorom sa product nachádza).
- **Aisles.csv** - obsahoval iba dva atribúty, konkrétne *aisle\_id* (ID uličky) a *aisle* (názov uličky, v ktorej sa produkt nachádza). Atribút *aisle* obsahuje 128 rôznych názvov uličiek, ako napríklad *bakery desserts* (pečené dezerty), *asian foods* (ázijské potraviny), *baby accessories* (detské dooplňky), *kitchen supplies* (kuchynské potreby), *baby food formula* (detská výživa) a pod.
- **Departments.csv** – súbor popisoval oddelenie pre každú uličku produktu. Obsahoval atribúty *department\_id* (ID oddelenia) a *department* (názov oddelenia, v ktorom sa product nachádza). Atribút *department* obsahuje 21 rôznych názvov oddelení, ako napríklad *frozen* (mrazené), *bakery* (pečené), *alcohol* (alkohol), *international* (medzinárodné), *beverages* (nápoje), *pets* (domáce zvieratá) a pod.

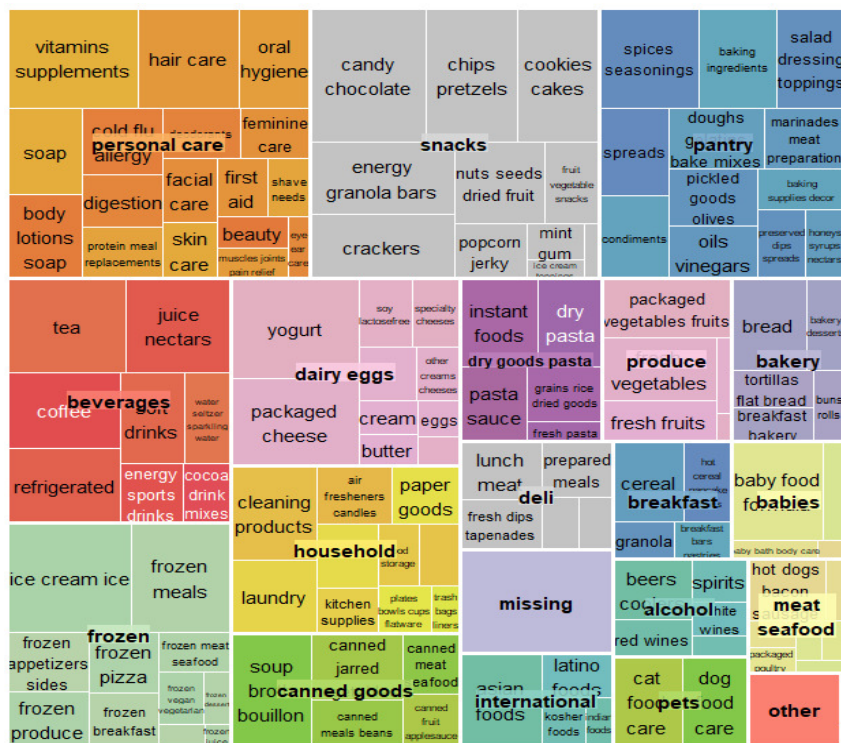
Počas prieskumu všetkých súborov sme zistili, že niektoré atribúty nie sú úplné (obsahujú chýbajúce hodnoty). Objavili sa však iba v jednom atribúte *days\_since\_prior\_order* v tabuľke *Orders*, ktorých početnosť je 30 288.

V rámci pochopenia dát sme vykonali aj exploračnú analýzu údajov. Ako prvé sme zisťovali v ktorej hodine zákazníci najčastejšie nakupovali. Výsledkom bolo zistenie, že zákazníci nakupovali najčastejšie v čase 14:00, a v čase od 10:00 do 15:00. Ďalej sme zisťovali čo zákazníci najčastejšie nakupovali. Pomocou frekvencie nákupu toho istého produktu sme zistili, že najčastejšie nakupovanou položkou bol *banán*, ktorý sa nachádzal vo viac ako 6 000 objednávkach. Taktiež sme zisťovali ako boli usporiadané uličky v rámci oddelení. Táto otázka bola významná pre úplne pochopenie dátovej vzorky a najmä pre predstavu usporiadania uličiek v súlade s oddeleniami. Nasledujúci obr.1 znázorňuje 21 oddelení ako napríklad „*produce*“ (produkty), „*snacks*“ (občerstvenie), „*frozen*“ (mrazené), „*personal care*“ (osobná starostlivosť), „*bakery*“ (pekáreň), „*babies*“ (deti) a „*alcohol*“ (alkohol). V týchto oddeleniach sa celkovo nachádzalo 134 uličiek. V oddelení „*personal care*“ boli napríklad uličky: *soap* (mydlo), *oral hygiene* (ústna hygiena), *hair care* (starostlivosť o vlasy), *skin care* (starostlivosť o pleť), *facial care* (starostlivosť o tvár), *eye ear care* (starostlivosť o oči) a mnoho ďalších.



Obr. 1 Usporiadanie uličiek v rámci oddelení

Zisťovali sme taktiež koľko unikátnych produktov bolo v každom oddelení. Obrázok č.2 zobrazuje odpoveď, kde veľkosť jednotlivých polí popisuje produkty v jednotlivých kategóriách. Napríklad v oddelení „*snacks*“ sa nachádzajú produkty: *candy chocolate* (cukrovinky), *cookies cakes* (sušienky), *energy granola bars* (energetické tyčinky), *popcorn jerky* (pukance), *chips pretzels* (praclíky), *crackers* (krekry), *nuts* (orechy), *seeds* (semená), *dried fruit* (sušené ovocie), *mint gum* (žuvačky), *fruit* (ovocné občerstvenie), *vegetables snack* (zeleninové občerstvenie).



Obr. 2 Unikátne produkty jednotlivých oddelení

### C. Príprava dát

V tejto fáze prípravy dát sme upravili dátovú vzorku tak, aby zodpovedala potrebám pre splnenie zadaného cieľa práce. V prvom kroku sme nahradili chýbajúce hodnoty v atribúte *order\_hour\_of\_day* z tabuľky *Orders*. Existuje viacero spôsobov ako tieto chýbajúce hodnoty nahradiť, avšak po vyskúšaní všetkých rôznych možností sme si vybrali nahradenie číslom 0. Týmto spôsobom bolo nahradených 30 288 prázdnych hodnôt.

Ďalším krokom bola transformácia atribútov *department\_id*, *aisle\_id*, *order\_id*, *product\_id*, *add\_to\_cart\_order*, *reordered*, *user\_id*, *order\_number*, *order\_dow* a *order\_hour\_of\_day* na numerický typ.

Ďalej bolo potrebné spojiť tabuľky *Order\_products\_train* a *Order\_products\_prior*, pretože sa líšili iba počtom záznamov. Po tomto spojení nám vznikla nová tabuľka *Order\_product*, ktorú sme sa rozhodli spojiť aj so zvyšnými súbormi na základe spoločných atribútov. Po spojení jednotlivých súborov nám vznikla kompletná tabuľka, z ktorej sme si však dodatočne vytvorili podmnožinu 50 000 náhodných záznamov z dôvodu veľkého množstva týchto dát. Nová vytvorená tabuľka ktorá bola pripravená na následne modelovanie teda obsahovala 50 000 záznamov a 14 atribútov.

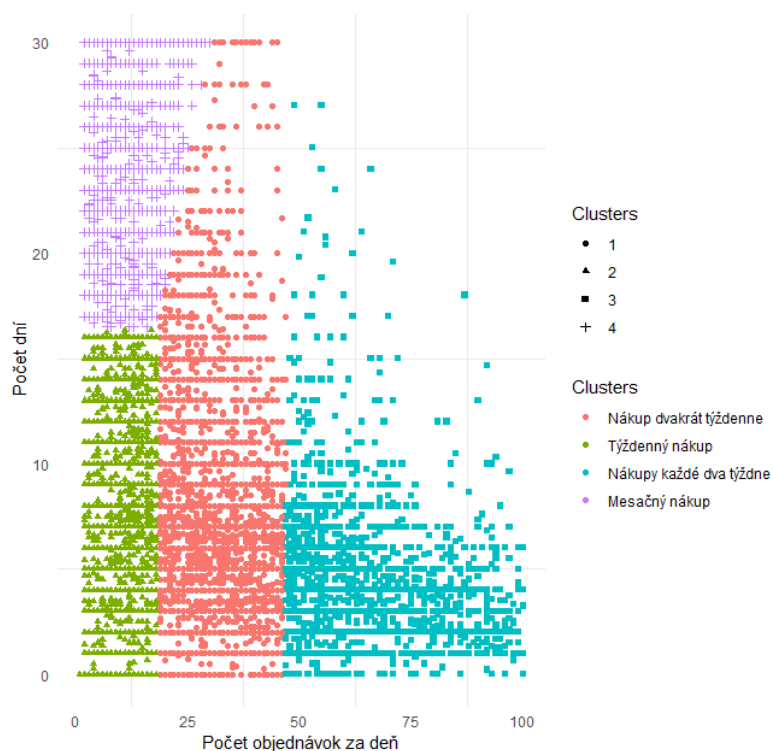
### D. Modelovanie a vyhodnotenie

V tejto časti uvádzame niekoľko modelov zblukovania.

Pri zhlukovaní pomocou atribútov *order\_dow*, *order\_number*, *days\_since\_prior\_order*, *order\_hour\_of\_day* sme vytvorili 4 klastre (zhluky). Cieľom tohto zhlukovania bolo zistiť **v aký deň v týždni, bolo najviac vložených objednávok do košíka**, pričom bol nákup rozdelený do 4 klastrov: nákup dvakrát týždenne, nákup každé dva týždne, mesačný nákup a nákup raz do týždňa. Podľa zistených výsledkov sa väčšina nákupov realizovala v šiestom dni a priemer objednávok vložených do košíka sa líšil podľa nákupu, pričom najviac položiek bolo vkladanych v nákupoch realizovaných raz mesačne a najmenej položiek vložených do košíka bolo pri nákupe dvakrát do týždňa.

Pri zhlukovaní pomocou atribútov *user\_id*, *order\_number*, *days\_since\_prior\_order* sme vytvorili 4 klastre. Cieľom zhlukovania bolo zistiť **kedy je najvyšší počet objednávok**. Vznikli 4 klastre: *nákup dvakrát týždenne*, *týždenný nákup*, *nákupy každé dva týždne* a *mesačný nákup*, do ktorých sme rozdelili objednávky. Výsledky na obrázku č.2 poukazovali na objednávky, ktoré boli rozdelené podľa dní nákupu od 0 po 30, pričom najvyššia frekvencia nákupov bola v 0 až 10 dni v mesiaci. Taktiež sme zistili, že zákazníci, ktorí nakupovali v 5 a 6 dni v mesiaci realizovali najviac objednávok, bez rozdielu o ktorý týždenný nákup ide. Najvyšší počet objednávok za deň tvorili nákupy, ktoré zákazníci realizovali opakovane a to každé dva týždne.





Obr. 3 Najvyšší počet objednávok

Pri zhlukovaní pomocou atribútov *add\_to\_cart\_order*, *order\_number*, *order\_hour\_of\_day* sme vytvoili 4 klastre. Cieľom bolo zistiť **v ktorom čase bolo vložených najviac položiek do košíka**. Výsledkom bolo zistenie, že v čase medzi 13:00 až 14:00 bolo realizovaných najviac objednávok a ich počet bol v priemere 40.

#### IV. ZÁVER

Proces popísaný v tomto príspevku popisuje analýzu transakčných dát z e-shopu. Na správe pochopenie dostupných dát sme zvolili exploračnú analýzu pomocou ktorej sme zistili napríklad, v ktorej hodine zákazníci najčastejšie nakupujú, ktorý product sa najčastejšie nakupuje, v ktorom dni si zákazníci objednávajú najčastejšie, ako sú usporiadané uličky v rámci oddelení atď. V procese modelovania sme pomocou metódy zhlukovania zisťovali zistiť v aký deň v týždni bolo najviac vložených objednávok do košíka, kedy sa vykonal najvyšší počet objednávok alebo v ktorom čase bolo vložených najviac položiek do košíka. Získané informácie by mohli využiť obchodní manažéri v rôznych otázkach umiestnenia tovaru alebo stanovenia zliav na produkty.

#### POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore projektu FEI-2018-52 financovaného Fakultou elektrotechniky a infomatiky, Technickej univerzity v Košiciach, Agentúry na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-16-0213 a Vedeckej grantovej agentúry MŠVVaŠ SR a SAV, projekt č. 1/0493/16.

#### REFERENCIE

- [1] J.Stanley: 3 Milion Instacart orders, open sourced.
- [2] F.Kurniawan, B.Umayah, J.Hammad, S.M.S.Nugroho, M.Hariadi: Market basket analysis to idenfity customer behaviors by way of transaction data.2017.
- [3] T.Kutuzova, M.Melnik: Market basket analysis of heterogeneous data sources for recommendation system improvement.2016
- [4] R.Priya: Retail data analytics using graph database.2018
- [5] P.Berka : Dobývání znalostí za databází. Academia, 2003, 366 s., ISBN 80-200-1062-9.
- [6] J. Paralíč: Objavovanie znalostí v databázach: Elfa : Košice,2003.80 s. ISBN 80-89066-60-7.
- [7] Instacart market basket analysis. Which product will an Instacart consumer purchase again?



# Virtualization of information systems and treatment planning systems in radiation oncology

Matej MATTA, <sup>1</sup>Zdeněk HAVLICE, <sup>2</sup>Luboslav JOCHMAN, <sup>3</sup>Martin JASENČÁK

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

<sup>2</sup>Siemens Healthcare s.r.o., Trieda SNP 37, Košice, Slovak Republic

<sup>3</sup>Východoslovenský onkologický ústav a.s., Rastislavova 43, Košice, Slovak Republic

[matej.matta@student.tuke.sk](mailto:matej.matta@student.tuke.sk), [zdenek.havlice@tuke.sk](mailto:zdenek.havlice@tuke.sk),  
[luboslav.jochman@siemens-healthineers.com](mailto:luboslav.jochman@siemens-healthineers.com), [martin\\_jasencak@yahoo.com](mailto:martin_jasencak@yahoo.com)

**Abstract** — The topic of this article is about virtualization of existing information and treatment planning systems in radiation oncology. The target of article is to describe this process and to find the solution, which should be realized in practice. The necessary part of the solution is to process the requirements and then verification and validation of them. Consequently, there is necessary to choose the right software tools for virtualization based on user requirements. It will be possible to perform virtualization based on the selected procedures. Result of this will be the virtual copy of system which will be runnable on many operating systems. A real test of system was conducted on a computer, which is located on the Východoslovenský onkologický ústav in Košice workplace. Test was based on the list of requirements.

**Keywords** — Virtualization, Medical systems, VMWare, Oracle VirtualBox, Data, Requirements

## I. INTRODUCTION

Data protection, data availability and manipulation with them is the main part of worktime for a lot of workplaces around the world. There is existing a lot of mechanisms how to protect the data. Security tools and tools based on protection are very useful. But there is another hazard. Older hardware is not very safety and there is an option that it can broke in some period of time. Sometimes, it is intended because of overloading the components. In case of current users, it is not a problem. It is very easy to change the broken component from computer and system can easily run without problems. But on the other side, there are a lot of domains, where the reliability of computers is important. They should work without problems. One of these domains is the medical domain. It is not acceptable for a device to fail when a patient is on a desk and such a failure could pose any threat to the patient's health. For example, in time when the radiation from the computer tomography or RTG is released and computer will crash in same time, the consequences could be fatal.

In this case, expensive software that is being developed for medical devices would have no value. This software hides many patient records. Depending on what type of software they are, they are divided into information oncology systems and treatment planning systems in radiation oncology. Every software has its own specifications and it is designed for different purposes. Data availability and manipulation with them in the system is important for the doctor. Legislation of Slovak republic imposes on healthcare operators to keep patients' medical records for 20 years after the last provision of health care [4]. That is the reason, why is important to keep the data alive and available in time.

That is the reason why it is needed to bring new solution into the medical domain. Nowadays and with the new options available, a solution can make it easier for the doctors to work and in case of hardware hazard, virtualized software can be easily runnable on another device.

## II. ANALYSIS

Východoslovenský onkologický ústav workplace used more types of information or treatment systems in past. From the beginning to now, they are not the same. The newer versions brought better functionalities as the older one. These systems are divided into two categories:

- Information systems (IS) - their target is to present the information stored in database and bring the information's to the doctor, based on the pictures of patient
- Treatment planning systems (TPS) - they are used for planning the treatment of patient and they can show the list of older treatment records.

Although the difference between systems may seem to be minimal, it is not true. Information systems have the different functionalities as treatment planning systems. They are more aimed on collection of the data. On the other side, information systems are used for displaying them. Employees on workplace were working with more types of systems in the past. All these systems are full of patient records. That is the reason why it is needed to virtualize them. every software is based on running on another platform. It is needed to find the optimal solution for virtualization of every software's. The solution could be applicable also on the older systems, which are out of use, now. Hardware of these computers is very old and not stable. There are four software systems for the virtualization, based on the requirements:

- Plato – Sunrise (UNIX),
- LANTIS SMSOCS (Windows Server 2000),
- Konrad (Windows XP),
- TPS Oncentra (Windows 7).

It is very important to keep data consistency in virtualization. Based on the requirements analysis, it is advisable to focus on free software. However, it is also necessary to choose a software solution that can be implemented on all the mentioned platforms.

To implement the solution correctly, it is necessary to use several software tools. These are described in the following sections.

### A. Backup tool

Before the virtualization will start, it is needed to create a backup of software. We will use the Acronis true Image tool. Thanks to Siemens Healthcare s.r.o. it was possible to use this software for the solution. The result is a backup of disk arrays. This backup is executable only on the computer on which it was created.

### B. Virtualization tool

For the virtual copy of system was used VMware vCenter Converter Standalone tool. This tool is free to use and is usable on all the platforms, which are used as the standard for all of systems in workplace [2]. There are used these types of formats for virtual copy files:

- vmdk (Virtual Machine Disk) is used for running the virtual copy on the software of the company VMware,
- vhd (Virtual Hard Disk) is used to run on other companies' products (Oracle-VirtualBox),
- vdi (VirtualBox Virtual Disk Image File).

The software supports the creation of images for the same products and therefore the solution is aimed at the subsequent launch of the virtual image for VMware Workstation 14 software. The virtualization process is the conversion of a physical computer to a virtual one. However, this definition introduces two new concepts:

- physical computer - is a real device on which the operating system works. It consists of mechanical and electronic components,
- virtual physical - is a computer that, like physical, can run an operating system and applications. It consists of a series of configuration files that take over the real hardware configuration [3].

Using this software will transform physical hardware into a virtual one. The virtual image configuration of the system remains unchanged because the software can replace it with its drivers.

As it is known that information systems are not running on the same platform, it is also important to think about it. In this case, however, compared to other software, this Converter tool also supports UNIX execution. This is the main reason why it is chosen to convert this tool.

### C. Software for running virtual system

VMware Workstation Player has been selected to run virtual images. The software comes from the same company as the chosen conversion tool. The tool runs with \*.vmdk files. If this tool is used, no transformation of the virtualized image is required because the format will be

supported. With the tool, it is possible to change the virtual image configuration, change various types of settings, such as RAM size, disk space size, set up a shared folder between physical and virtual machines, change network settings, processor settings, video adapter settings, and more.

In addition, multiple virtual images can be added to the environment and multiple virtual systems can be run at the same time. It also supports connecting a USB device to a virtual image, which is very important in case of connecting a hardware key to a virtual system.

By using these tools, systems can be successfully virtualized based on requirements and tools analysis. The next part of the article will describe the process of system virtualization.

### III. SOFTWARE SOLUTION AND RESULTS

System virtualization is done in the same way in every case. It consists of the following steps:

1. patient database security backup to external storage device,
2. system backup using Acronis software in case of virtualization issues,
3. virtualization of system.

These three basic steps have been taken to virtualize all systems. However, from a practical point of view and system utilization in practice, it is advisable to begin by virtualizing older, discarded systems. New data is being added in the new ones. Similarly, the operation of systems and the working hours of doctors should be considered. At this time, it is not possible to interfere with the system.

#### A. *Information systems Plato – Sunrise and Konrad*

The system Plato has been the first in the workplace since 2005 and was used until 2013. It is now out of service. System keeps patient data on disk. However, there was an unexpected situation when trying to virtualize. Even though the computer was put in storage in suitable conditions, it could not run. Even after replacing different components. The computer is inoperative, and data are unavailable with it. These are stored on a SCSI disk and cannot be read without using a hardware key and the correct application.

This example only points to the need for system virtualization. If this solution were applied at the time when the computer was runnable, it would be possible to view these data at this time.

The same is also true of the other system, Konrad. It also could not be turned on for the same reasons. Therefore, it was not possible to virtualize this system. The advantage, however, is that the other two systems are in operation and therefore virtualization will be possible. However, it is questionable what problems will arise in virtualization.

#### B. *Oncology information system LANTIS SMSOCS*

LANTIS is an oncology information system. Therefore, it does not serve for planning but for viewing information of the patient for the doctors. Východoslovenský onkologický ústav in Košice uses the LANTIS information system from 2005 to the present. All the data are used for the display. The system contains information on individual patient exposure plans, radiation intensity on a particular body part, radiation dose [1] and others. The main software window offers a choice between patients who are part of the system. Patient data are stored in the SQL database in DICOM<sup>1</sup> format. This is the standard for displaying, distributing, storing, or printing medical data obtained from modalities.

<sup>1</sup> Digital Imaging and Communications in Medicine

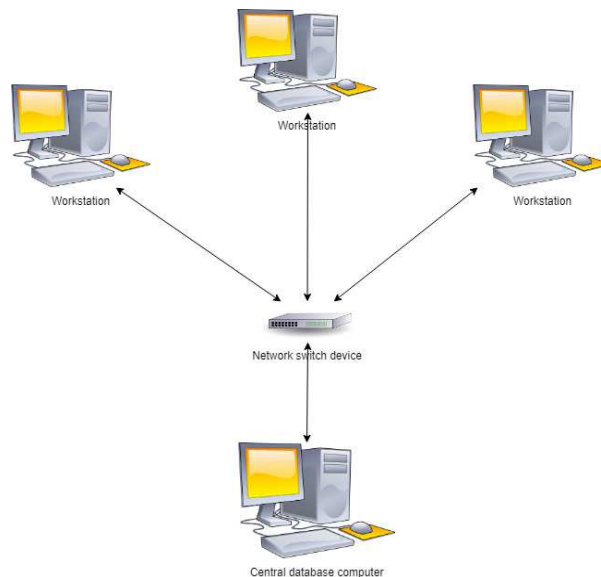


Fig. 1 Topology of LANTIS SMSOCS

The LANTIS information system is based on topology in Figure 1. Doctors at the oncology institute have access to LANTIS via client stations. Eight computers are tied to the information system. These stations are connected in a separate network and share data with each other. They all access the data stored on the master server, from where they access the data. It is also possible to write and access data in parallel.

The result for LANTIS is a successful virtualization that consisted of the steps mentioned in the introduction to the chapter. The first step was to back up computer disks. Specifically, there are 3 of them and therefore the process was lengthy. To back up, it is needed to restart the computer and change the boot priority for loading the system from CD media. After backup, virtualization software was installed on computer. The advantage in this case is that it was not necessary to have admin rights to install the software on the device. LANTIS is constantly in use and it is used by the doctors.

In order to do this, it was necessary to perform virtualization outside the hours when the system was used, either early in the morning before it was started or after working hours. The second option was chosen for time reasons. Before the virtualization, all client stations had to be shut down.

For this system, it was possible to exclude 2 disks when configuring the image being created, because it served as archiving. These would only increase the image size and slow down the system response.

In the virtualization process, a system image was created whose format is defined for the products of the same company. Thus, VMware Workstation 14 Player software, which is freely available, is used to run the VMDK file. The current file size is 12.7 GB. All hardware parameters have been left behind in virtualization.

### C. Treatment Planning System Oncentra

Nowadays, the Oncentra system is still in use. It is a planning system that is used to create, view, and edit patient treatment plans. This system is used daily and is currently crucial for the running of the Institute in terms of planning [6]. Therefore, virtualization of this system is of immense value in the event of a hardware failure or other unforeseen failure.

The main application of Oncentra is composed of several modules that are located on the left side of the application as is shown in Figure 2. These are tied to key licenses that, of course, cannot be accessed. However, the configuration program can be used to transfer these licenses between client stations. A hardware key is required to run the system without which the application cannot be started. Unlike the LANTIS information system, it is not necessary to deal with licenses at the system level. The hardware key should be compatible and in the case of system virtualization it should be possible to attach a key and launch the application easily.

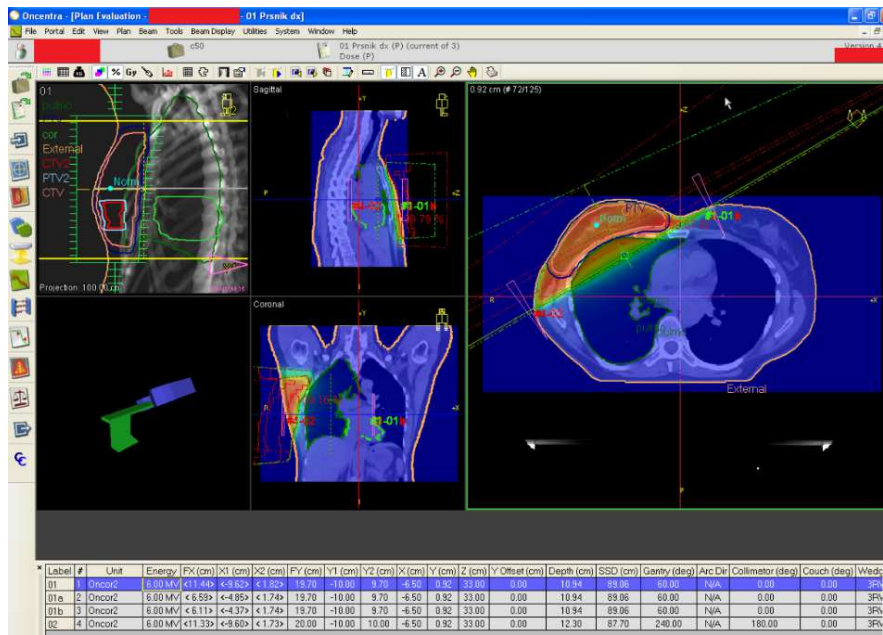


Fig. 2 Example of content in Oncentra application

In the case of TPS Oncentra, it is necessary to virtualize the client station and then the server. The next step is to connect two images into one network and then restore the system function using a hardware key. For the purpose, the station with the order number four was selected. The client station can also be virtualized during working hours, as its inactivity does not affect the workplace.

All client stations, although not identical in configuration, contain roughly the same components. It is not necessary to turn off the device or perform any other activity for virtualization. Client station virtualization went smoothly. However, some unnecessary partitions of the disk were omitted from the capacitive inputs.

The second device to successfully run a virtual system is the server. A data store is connected to this computer for data archiving. However, there were problems with virtualization. The conversion software could not find your computer disks. The cause is not SCSI disks and controllers. The main reason is EFI. LANTIS did not experience this problem because the computer was using an older BIOS. However, this problem has been solved by studying later by changing the newer conversion software.

However, the virtualization of the computer does not virtualize complete connected hardware and therefore it is necessary to connect the key to run and validate the system. Therefore, this process is tied to hours when the system is down. When the hardware key [5] is plugged in, the pop-up window will offer the option to attach the key either to a physical device or to a virtual one, where it offers a choice for multiple running systems before loading the key.

It is important that these licenses are uploaded at system startup. Therefore, it is necessary to restart the system image after connecting the key. Thus, startup licenses are validated and initialized. It is possible to work with the system after restarting. After loading the key on the server side, the client was turned on.

#### IV. HARDWARE SOLUTION

An essential part of a successful problem solution is the real device on which the systems will be launched. By properly configuring components, we can prevent system startup problems. These include, for example, system jams due to insufficient RAM, slowing down the system due to the same reason, unexpectedly shutting down the computer due to excessive load on the processor, and more. In addition, the operating system on which the virtualized environments will be running must work on that device. LANTIS cannot work with more than 3 GB of RAM, and the Oncentra workstation cannot work with more than 4 GB of memory. This is due to operating system limitations. Therefore, it is not necessary to oversize the computer.

The problem occurs with a server image that basically requires 32 GB of RAM. It also works flawlessly at half the memory size. There is a computer on a workplace that is sufficient to run all the virtualized systems at the same time. The disadvantage is just an older type of disk that slows down system loading. Therefore, a newer exchange would be appropriate.

#### V. PRESENTATION OF SOLUTION

A significant success was the presentation of this work at the time of implementation of the

solution. After the successful virtualized LANTIS SMSOCS system, the solution was presented at the Physics Conference Bratislava Day 2018. This solution was presented by one of the work consultants, Mr. Jasenčák. The presentation of the results has turned out and the framework of expectations and lecturers approached by multiple sites interested in the same solution. In the future, it is possible that this solution will be extended to other workplaces due to interest.

## VI. CONCLUSION

Based on the requirements, it was possible to design a process and analyze the available virtualization tools. By applying these tools and using procedures, it was possible to virtualize operating systems with applications.

Thanks to cooperation with the workplace of the Východoslovenský onkologický ústav it was possible to visit, collect information about the system, get acquainted with the systems and their subsequent virtualization. However, now the first system to virtualize failed due to malfunctioning computers. It just pointed out the weakness of old hardware and ultimately just confirmed the need for such a medical solution [6].

Two other systems have been successfully virtualized despite the complications. In some cases, multiple site visits were required because it was not always possible to determine what virtualization process would be effective and valid for the device. Technical factors have played an essential role in this case.

Hardware design was an essential part of the job, as it is necessary to optimize your computer to run it for the expected load.

## ACKNOWLEDGMENT

I would like to thank Siemens Healthcare s.r.o. Thanks to the help of employees and their training, it was possible to successfully implement the objectives of the work.

Likewise, I would like to thank the Východoslovenský onkologický ústav and, in particular, the staff who donated their private time to help them work successfully.



## REFERENCES

- [1] SIEMENS, LANTIS - System Introduction, 2007, [cit. 2019-05-05]
- [2] VMware documentation, Converting physical machines to virtual machines using VMware Workstation for Windows., 2015., [cit. 2019-05-05]., Available online: <https://kb.vmware.com/s/article/1018406>
- [3] VMware, Inc., VMware vCenter Converter Standalone 4.0 Release., 2009, [cit. 2019-05-05]., Available online: [https://www.vmware.com/support/converter/doc/releasenotes\\_conv40.html](https://www.vmware.com/support/converter/doc/releasenotes_conv40.html)
- [4] Zákon č. 576/2004 Z. z., Zákon o zdravotnej starostlivosti, službách súvisiacich s poskytovaním zdravotnej starostlivosti a o zmene a doplnení niektorých zákonov., 2004., [2019-05-05], Available online: <http://www.zakonypreludi.sk/zz/2004-576>
- [5] GEMALTO NV., Sentinel HASP HL, 2019, [2019-05-05]., Available online: <https://sentinel.gemalto.com/software-monetization/sentinel-hasp-hl/>
- [6] MATTA, M., Virtualization of information systems and treatment planning systems in radiation oncology, 2019[cit. 2019-05-05]. Master's thesis. Technical University of Kosice, Faculty of electrical engineering and Informatics, Dept. of Computer and Informatics. Thesis supervisor Zdeněk Havlice

# Inteligentné technológie na podporu navigácie vo vnútorných priestoroch

Simona GERBOCOVÁ, František BABIČ

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Technická univerzita v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, Slovenská republika

simona.gerbocova@student.tuke.sk, frantisek.babic@tuke.sk

**Abstrakt** — Tento článok sa zaoberá problematikou navigácie vo vnútorných priestoroch pomocou beaconov. Na základe analýzy existujúceho stavu z pohľadu dostupných technológií, základných princípov a využívaných metód navrhujeme vlastnú aplikáciu na podporu navigácie v priestoroch Katedry kybernetiky a umelej inteligencie na Vysokoškolskej 4. Na tento účel využijeme beacon zariadenia, prostredníctvom ktorých sa tieto priestory transformujú na inteligentné. Na základe Bluetooth Low Energy a komunikačného protokolu s názvom iBeacon sa prenáša ID beaconu a sila signálu, prostredníctvom ktorých sa v aplikácii zobrazujú navigačné správy popisujúce možnú sekvenciu krokov k cieľu. Výsledná aplikácia spolu s rozmiestnenými beaconmi bola otestovaná v príslušných priestoroch pomocou akceptačného testovania.

**Kľúčové slová** — Android, Beacon, Mobilná aplikácia, Vnútorná navigácia

## I. ÚVOD

Keď človek niekde započuje slovo *navigácia*, tak si ho v mnohých prípadoch automaticky spojí s GPS technológiou. Napriek tomu, že sa GPS považuje za jednu z najpoužívanejších technológií, existujú ešte prípady použitia, kde nie je vhodná. Príkladom je navigácia vo vnútorných (interných) priestoroch budov, do ktorých GPS signály nedokážu preniknúť [12]. Práve kvôli tomuto „obmedzeniu“ sa vo vnútorných priestoroch používajú iné druhy technológií. Jednou z nich sú aj beacons, ktoré sú čoraz viac populárnejšie a využívajú sa v rôznych odvetviach.

Budova Vysokoškolskej 4 (V4) je súčasťou Technickej univerzity v Košiciach. Okrem toho, že je sídlom Stavebnej fakulty, sídli v nej aj celouniverzitné pracoviská ako Katedra telesnej výchovy, Katedra spoločenských vied a Katedra jazykov; časť Fakulty materiálov, metalurgie a recyklácie a Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulty elektrotechniky a informatiky.

Každá z týchto organizačných jednotiek obsahuje miestnosti pre zamestnancov, doktorandov alebo iných pracovníkov spolu s miestnosťami pre výučbu. Je to budova, ktorá má 4 poschodia a čo sa týka zložitosti jej vnútorných priestorov, má relatívne jednoduchú štruktúru. Avšak, aj napriek tejto jednoduchej štruktúre sa veľmi často stáva, že sa v nej ľudia – či už ide o študentov alebo o návštevníkov univerzity, veľmi ťažko orientujú, najmä pri hľadaní konkrétnych osôb.

Preto sme sa rozhodli tento problém vyriešiť kombináciou mobilnej aplikácie a relatívne novej smart technológie – beacon, pomocou ktorej sa študenti alebo návštevníci univerzity ľahšie dostanú k miestu, ktoré hľadajú.

### A. Vnútorná navigácia

Podľa práce [1] má slovo navigácia latinský pôvod a je odvodené z 2 slov: „*navis*“ (loď) a „*agere*“ (smerovať). To znamená, že pôvodne sa používala na smerovanie pohybu lodí na mori. Navigáciu tak môžeme všeobecne charakterizovať ako proces sledovania a kontroly pohybu objektu/subjektu, ktorý sa chce dostať z bodu A do bodu B. Podľa práce [2] môžeme tvrdiť, že navigácia sa skladá z troch dôležitých častí (procesov): 1. určenie začiatkovej polohy, 2. poznanie cieľa a nájdenie optimálnej cesty doň, 3. vedenie objektu/subjektu po tejto ceste. Podľa prostredia, v ktorom sa používa, sa rozdeľuje na vonkajšiu a vnútornú.

Vnútorná navigácia, taktiež nazývaná interiérová, sa zaoberá navigáciou vo vnútri budov. Hlavnou myšlienkou tejto technológie je poskytnúť používateľom „GPS vo vnútorných priestoroch“, ktoré im prostredníctvom inteligentných telefónov pomôže ľahšie sa zorientovať v neznámych priestoroch, a tak rýchlejšie nájsť cestu k miestam, ktoré momentálne hľadajú. Ak



medzi sebou porovnáme vnútornú a vonkajšiu navigáciu, tak podľa [3] sa z určitého hľadiska môže zdať, že interiérová navigácia je oveľa jednoduchšia ako tá vonkajšia. Môže to byť tým, že pokrytie rozlohy vnútorných priestorov sa zdá byť oveľa menšie ako pokrytie vonkajšej rozlohy. Dalším dôvodom je to, že vo vnútri budov sa ľudia pohybujú chôdzou, čo predstavuje oveľa nižšiu rýchlosť pohybu v porovnaní s vozidlami jazdiacich vonku. Avšak, na druhej strane, štruktúra budov je často oveľa zložitejšia ako štruktúra cestnej siete a taktiež vysoká presnosť, ktorá sa pri navigácii vo vnútorných priestoroch vyžaduje (často niekoľko centimetrov), spôsobuje to, že vnútorná navigácia sa javí byť o dosť náročnejšia.

Nielen metóda merania signálu, či algoritmus na výpočet polohy, ale aj použitá technológia môže mať dostatočne veľký vplyv na presnosť lokalizácie cieľa. Technológie slúžiace na určovanie polohy vo vnútorných priestoroch môžeme klasifikovať prostredníctvom troch rôznych kritérií [4], [5], [6]. Prvým z týchto kritérií je *typ signálu*, ktorý môže byť: rádiový, svetlo, zvuk alebo magnetické pole.

Druhým kritériom je to, či je prístup pri výpočte polohy *aktívny* alebo *pasívny*. Pri aktívnom prístupe je pre určenie polohy potrebné fyzické zariadenie, napr. tagy, senzory, atď. Tieto zariadenia generujú signál namiesto toho, aby ho prijímali. Pasívny prístup určuje polohu bez potreby fyzického zariadenia, pretože výpočet polohy sa vykonáva priamo na mobilnom zariadení používateľa, ktoré prijíma signál namiesto toho, aby ho generovalo.

Posledným, tretím kritériom je, či signál obsahuje úmyselne *vložené informácie* alebo nie. Signály, ktoré obsahujú vložené informácie, sú napríklad signály Wi-Fi, svetlo alebo zvuk. Naopak signálom, ktorý neobsahuje vložené informácie, je magnetické pole Zeme.

Technológie, ktoré sú založené na rádiový frekvenčnom signáli sa podľa autorov [1] radia do kategórie najrozšírenejších, najpopulárnejších a najpoužívanejších technológií určovania polohy vo vnútorných priestoroch. Medzi najväčšie výhody týchto technológií patria hlavne relatívne nízke náklady a tiež široká oblasť pokrytia signálom. Konkrétne do tejto kategórie technológií patrí aj *Bluetooth*, ktorý sme využili v našej práci.

### B. Beacon technológia

Beacon je malé, bezdrôtové, nízko nákladové hardvérové zariadenie vysielajúce jednoduchý rádiový signál všetkým inteligentným zariadeniam v jeho dosahu. V mnohých prípadoch sa princíp jeho fungovania prirovnáva ku klasickému majáku nachádzajúceho sa na pobreží mora, ktorý vysiela prerušovaný svetelný signál. Avšak, namiesto svetelného signálu beacon opakovane (niekoľkokrát za sekundu) vysiela rádiový signál, ktorým dokáže prenášať svoj jedinečný identifikátor až do vzdialenosti niekoľko desiatok metrov. Zjednodušene povedané, okolitým zariadeniam iba oznamuje svoju prítomnosť vo forme: „*Som tu a toto je moje ID*“.

Inteligentné zariadenia, ktorými môžu byť smartfóny či tablety, dokážu tento signál zachytiť prostredníctvom technológie Bluetooth Low Energy (BLE), nazývanej aj Bluetooth 4.0. Následne, ak majú nainštalovanú príslušnú mobilnú aplikáciu, dokážu tento signál detegovať, a tak vykonať zodpovedajúce akcie.

Rádiový signál je z beaconu vysielaný v určitej formáte, ktorého štruktúru definujú komunikačné protokoly. Podľa<sup>1</sup> sú najpoužívanejšími iBeacon<sup>2</sup> od Apple a Eddystone<sup>3</sup> od Google. Môžu slúžiť ako most alebo akýsi spôsob preklenutia fyzického a digitálneho sveta.

Každý reklamný paket, ktorý beacon prostredníctvom signálu vysiela, je zložený z písmen a čísiel, ktoré ho bližšie popisujú<sup>4</sup>. Každý z nich obsahuje jedinečný identifikátor a niekoľko ďalších bajtov, ktoré poskytujú ďalšie informácie, napríklad údaje o výrobcovi alebo prijatej sile signálu (RSSI), ktorá slúži na ľahšie určenie fyzickej polohy zariadenia. Autori v práci [8] použili tento prístup na vytvorenie evakuačnej služby vo vnútorných priestoroch s cieľom jednoducho a rýchlo navigovať ľudí k únikovým východom. Experimentálne si potenciál tejto technológie overovali autori na Univerzite v Hradci Králové [9]. Pre ľudí na vozíčku využili autori z univerzity v Brazílii beacons na podporu vnútornej navigácie v akademických priestoroch [10].

Napriek tomu, že beacons majú mnoho výhod a v mnohých situáciách sa javia ako tá najlepšia možnosť, nie je to tak vo všetkých prípadoch ich použitia. Hoci sú pomerne lacné, nenáročné na údržbu a majú relatívne veľký dosah (niektoré až 200 metrov), výpočet ich vzdialenosti od zariadenia nie je dostatočne presný, pretože ho ovplyvňuje množstvo faktorov [11]. Signály, ktoré beacons vysielajú, sú často blokované fyzickými objektmi ako sú steny, stĺpy alebo dokonca aj samotní ľudia. Z tohto dôvodu je potrebná dostatočná analýza priestorov, v ktorých budú beacons umiestnené. Beacons sa vo väčšine prípadov odporúča umiestniť nad hlavy ľudí, úplne ideálne na nízke stropy alebo steny vo výške 2 až 3 metre nad zemou, vo vzdialenosti 8 – 10 m od seba.

<sup>1</sup> <https://kontakt.io/blog/ibeacon-vs-eddystone/>

<sup>2</sup> <https://developer.apple.com/ibeacon/>

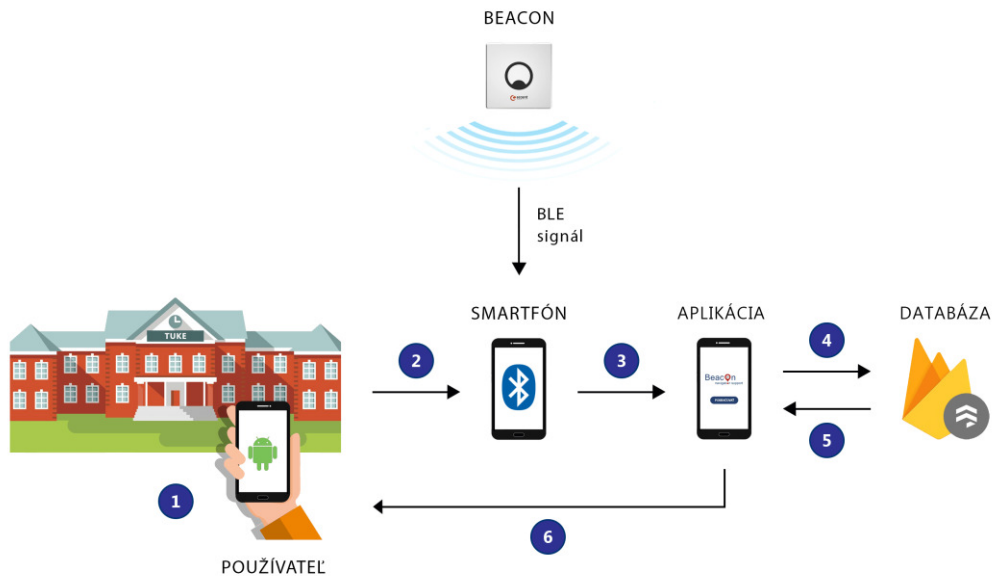
<sup>3</sup> <https://developers.google.com/beacons/eddystone>

<sup>4</sup> <https://blog.matchmore.io/everything-you-need-to-know-about-beacons/>

## II. NÁVRH RIEŠENIA

### A. Architektúra

Prostredníctvom architektúry aplikácie môžeme lepšie pochopiť ako prebiehajú všetky jej procesy a taktiež zadefinovať konkrétne technológie, ktoré sme použili. Na Obr. 1 je znázornená architektúra našej aplikácie.



Obr. 1 Architektúra aplikácie.

V 1. kroku vstúpi používateľ so svojim mobilným zariadením, s OS Android, do vnútra budovy Vysokoškolskej 4. V nej sú umiestnené beacony typu iBKS od spoločnosti Accent Systems, ktoré periodicky vysielajú BLE signál so svojim ID. V 2. kroku mobilné zariadenie používateľa (za predpokladu, že má nainštalovanú a spustenú aplikáciu, zapnuté Bluetooth a povolené sledovanie polohy) zachytí tento signál a pošle ho do aplikácie. Tá v 3. kroku identifikuje ID beaconu, ktorý tento signál vyslal. Následne aplikácia v 4. kroku nadviaže spojenie s cloudovou databázou Firestore<sup>5</sup>, ktorej pošle žiadosť o bližšie informácie prislúchajúce beaconu, ktorého ID identifikovala. Databáza ich v 5. kroku pošle aplikácii naspäť. Nakoniec, po úspešnom získaní príslušných údajov z databázy, ich aplikácia v 6. kroku vo vhodnej forme zobrazí používateľovi.

### B. Proces vývoja

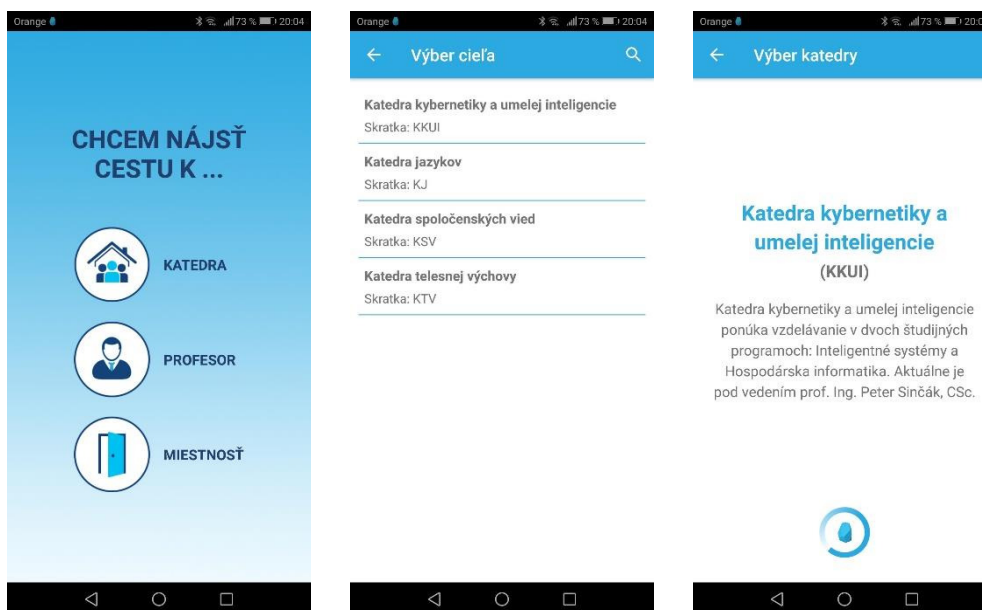
Implementáciu riešenia sme realizovali v programovacom jazyku Java; celkovo sme vytvorili tri prototypy; testovaná bola posledná, finálna verzia.

Za najdôležitejšiu časť aplikácie považujeme prijímanie signálu z beaconov, preto sme sa jej venovali hneď v prvom prototypu. Najprv sme vytvorili tzv. „*foreground service*“; teda službu, ktorá sa automaticky spustí pri zapnutí aplikácie a beží po celý čas, až pokiaľ sa aplikácia nevyhne. Táto služba vyhľadávala beacony na pozadí aplikácie. Následne sme si pre každý beacon zadefinovali tzv. „*región*“ s jeho jedinečnými identifikátormi. Vďaka nemu sa beacon pridal do zoznamu, ktorý sa kontroloval v každom intervale procesu vyhľadávania.

Na zachytenie signálov z okolitých beaconov sme vytvorili funkciu spätného volania *onBeaconServiceConnect()*, ktorá sa zavolala vtedy, keď bola služba pripravená. Po jej prijatí sa následne spustilo vyhľadávanie beaconov v jednotlivých regiónoch. Taktiež sa v každom intervale vyhľadávania spustila ďalšia funkcia spätného volania *didRangeBeaconsInRegion()*, ktorá kontrolovala, či boli beacony v jednotlivých regiónoch zachytené. Ak bolo toto spätné volanie prijaté a zároveň bol zachytený signál aspoň z 1 beaconu, prijaté dáta sa odoslali ostatným triedam, ktoré s nimi ďalej pracovali. V rámci prvého prototypu sme sa venovali aj uloženiu dát do databázy. Keďže dáta museli byť uložené vo forme *klúč : hodnota*, tak sme si pre každý záznam (dokument) vytvorili tzv. *HashMapu*. Tú sme po naplnení príslušnými dátami uložili do konkrétnej kolekcie v databáze.

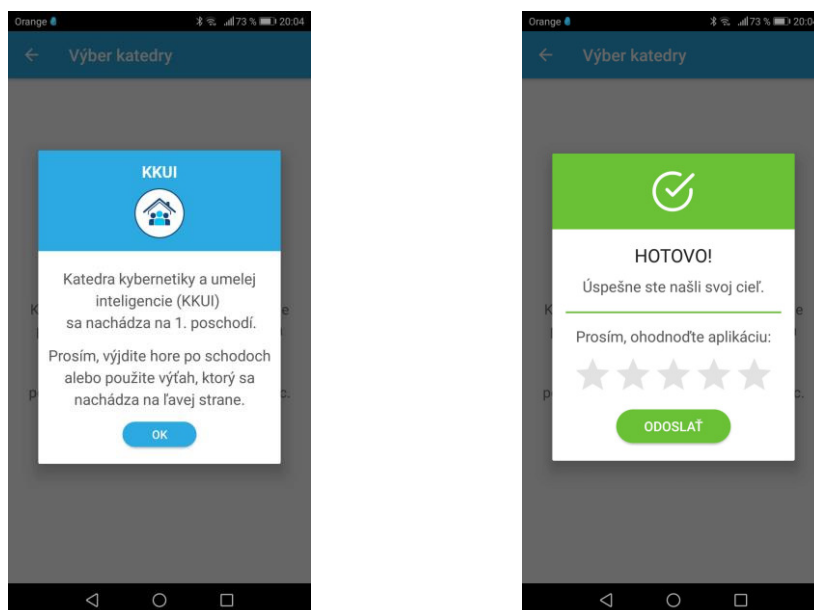
<sup>5</sup> <https://firebase.google.com/docs/firestore>

V druhom prototypu sme sa venovali čítaniu dát z databázy na základe vybraného cieľa a zobrazovaniu správ na ceste k nemu. Na Obr. 2 sa nachádza obrazovka s tromi kategóriami možných cieľov cesty.



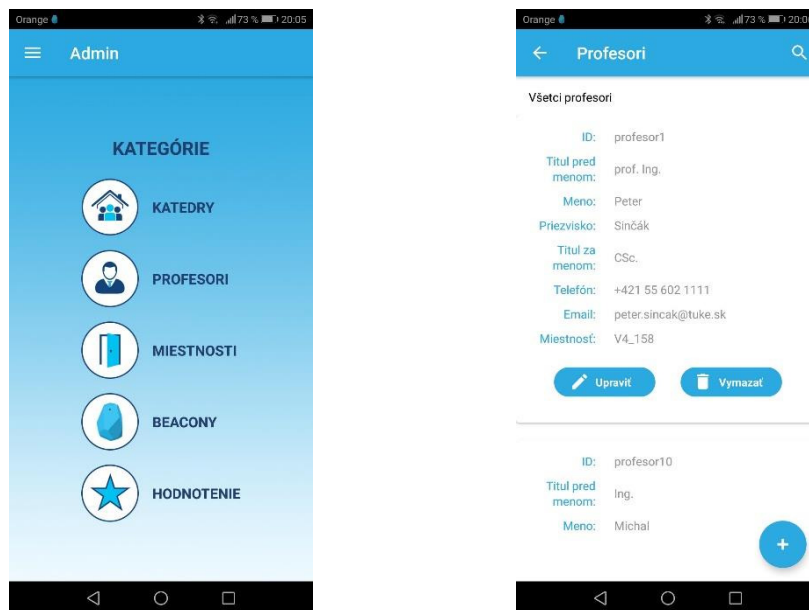
Obr. 2 Ukážky obrazoviek z mobilnej aplikácie: a) 3 kategórie možných cieľov, b) zoznam katedier dostupných v danom priestore, c) informácia o cieľi spolu s ukazovateľom vyhľadávania beaconov.

Po výbere konkrétneho cieľa a následnom zachytení signálu z beaconu aplikácia overí, či sa beacon nachádza na ceste k tomuto cieľu. Ak nie, tak aplikácia ďalej pokračuje vo vyhľadávaní beaconov v okolí. Ak áno, tak sa overí či sila jeho signálu zodpovedá zadefinovanému rozsahu. Ak nezodpovedá, tak sa opäť pokračuje vo vyhľadávaní. Ak zodpovedá, tak aplikácia overí, či už bola správa z beaconu zobrazená. Ak už bola zobrazená, tak sa beacon v ďalšom intervale vyhľadávania ignoruje. Ak nebola zobrazená, aplikácia vygeneruje a zobrazí správu o ďalšom kroku k cieľu, ktorá zodpovedá zachytenému beaconu (Obr. 3a). Tento proces sa opakuje, až pokiaľ aplikácia nezachytí signál a nezobrazí správu z beaconu, ktorý je pri vybranom cieľi zadefinovaný ako jeho cieľový. Vtedy sa zobrazí informačná správa o úspešnom nájdení cieľa (Obr. 3b), v rámci ktorej má používateľ možnosť ohodnotiť aplikáciu pomocou hviezdíčiek na škále od 1 po 5.



Obr. 3 Ukážky obrazoviek z mobilnej aplikácie: a) prvá navigačná správa, b) dosiahnutie cieľa a možnosť ohodnotiť aplikáciu.

V poslednom prototypy sme sa zamerali na rozhranie administrátora aplikácie. Ten má k dispozícii obrazovku s piatimi kategóriami (Obr. 4). Prvé tri kategórie sa týkajú spravovania jednotlivých cieľov cesty, štvrtá obsahuje zoznam všetkých beaconov v budove a piata sa týka priemerného hodnotenia aplikácie.



Obr. 4 Ukážky obrazoviek z mobilnej aplikácie: a) administrátorské rozhranie, b) možnosť editácie údajov.

### C. Testovanie

Testovanie sme realizovali vo viacerých fázach a v rôznych prostrediach. Najprv sme finálne riešenie testovali v prostredí simulujúcom priestory na univerzite. Signál, ktorý mala aplikácia zachytiť, sme nastavili na  $> -65$  dBm. Pomocou aplikácie sme postupne vyskúšali nájsť cestu k viacerým cieľom z každej kategórie. Aplikácia v tomto prostredí fungovala podľa predstáv, rýchlosť odozvy bola výborná a presnosť zobrazovania správ bola veľmi presná.

V druhej fáze sme už aplikáciu testovali v reálnom prostredí budovy V4. Beacons sme zatiaľ umiestnili na zem v častiach chodby, kde by v budúcnosti mali byť namontované. Prvý beacon bol uložený na prízemí vo vestibule budovy, druhý na 1. poschodí pri schodoch, tretí na začiatku chodby, štvrtý v strede chodby a piaty za rohom chodby. Tak ako v prvej fáze, aj v druhej sme postupne vyskúšali nájsť cestu k viacerým cieľom z každej kategórie. Pri tomto testovaní bolo potrebné v aplikácii spraviť menšie úpravy týkajúce sa najmä plánovaného rozmiestnenia beaconov a ich priradenia jednotlivým miestnostiam na chodbe. Čo sa týka hodnoty sily signálu, neboli potrebné žiadne úpravy. V porovnaní s prostredím z prvej fázy testovania, teraz mala aplikácia oveľa pomalšie odozvy a presnosť zobrazovania správ bola slabšia. Pripisovali sme to faktu, že sa na danej chodbe nachádzajú tri Wi-Fi routery.

V tretej fáze testovania sme už beacons namontovali priamo na steny v príslušných častiach budovy V4, vo výške cca 2 m od zeme. Následne sme dali aplikáciu otestovať okoloidúcim študentom. Každý z nich sa mal prostredníctvom aplikácie dostať k vopred zadanému cieľu. Po úspešnom nájdení cieľa mal za úlohu ohodnotiť aplikáciu ľubovoľným počtom hviezdíčiek v rozsahu 1 až 5. Následne sa mu na obrazovke zobrazilo okno s odkazom na dotazník s 11 otázkami týkajúcich sa celkového hodnotenia a spokojnosti pri používaní aplikácie. Pri tomto testovaní sme zistili, že okrem Wi-Fi zariadení ruší signál aj množstvo ľudí nachádzajúcich sa na chodbe. Dokonca nastali aj také situácie, že sa študentom nepodarilo zobrazíť správu z beaconu, ani keď od neho boli vo vzdialenosti pár desiatok centimetrov. Z týchto dôvodov bolo potrebné počas testovania niekoľkokrát upraviť rozsah signálu jednotlivých beaconov, aby čo najviac vyhovoval daným podmienkam prostredia. Podobný problém riešili aj autori práce [7], ktorý presnosť signálu prostredníctvom BLE vylepšovali ďalšími výpočtovými metódami.

Napokon sme našli riešenie, ktoré prinieslo najlepšie výsledky. Silu signálu sme pri každom beacone nastavili na hodnotu  $> -75$  dBm; okrem štvrtého beaconu v poradí nachádzajúceho sa v strede chodby. Keďže jeho signál sme pri hodnote  $> -75$  dBm dokázali zachytiť aj na neželaných miestach, museli sme silu jeho signálu zvýšiť na hodnotu  $> -65$  dBm. Pri beaconoch totiž platí čím je sila signálu vyššia, tým sa používateľ nachádza k beaconu bližšie. Používatelia, ktorí našu aplikáciu otestovali, boli s jej používaním, funkcionalitou a dizajnom celkovo spokojní; ale zároveň upozornili na možné zlepšenie presnosti navigácie a rýchlosti odozvy. Avšak vzhľadom na podmienky prostredia budovy V4 bola presnosť aplikácie postačujúca.

### III. ZÁVER

Tento článok ukazuje spôsob, ako nám môžu inteligentné technológie pomôcť zlepšiť orientáciu vo vnútorných priestoroch budovy, do ktorej nedokážu preniknúť GPS signály. Na tento účel sme vytvorili mobilnú aplikáciu pre zariadenia s OS Android, ktorá je určená pre študentov a návštevníkov Technickej univerzity v Košiciach, konkrétne budovy Vysokoškolskej 4. Aplikácia slúži na podporu navigácie pri hľadaní konkrétnych pracovísk, osôb alebo miestností nachádzajúcich sa na 1. poschodí tejto budovy. Využíva na to signál vychádzajúci z 5 beaconov umiestnených v príslušných priestoroch.

### POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporená Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou MŠVVaŠ SR vo forme projektu č. 005TUKE-4/2017 (Zavedenie praktickej výučby mobilných technológií prostredníctvom vývoja aplikácií pre inteligentné zariadenia).

### ZDROJE

- [1] Sakpere, W., Adeyeye-oshin, M., Mlitwa, N.B.W, *A State-of-the-Art Survey of Indoor Positioning and Navigation Systems and Technologies*, South African Computer Journal 29(3), 2017, pp.145-197.
- [2] Vaščák, J., Savko, I, *Radio Beacons in Indoor Navigation*, 2018 World Symposium on Digital Intelligence for Systems and Machines (DISA), Kosice, Slovakia, 2018, pp. 283-288.
- [3] Mendelson, E., *System and method for providing indoor navigation and special local base service application for malls stores shopping centers and buildings utilize Bluetooth*, US 2010/0121567 A1, 2010.
- [4] Brena, R.F., et al., *Evolution of Indoor Positioning Technologies: A Survey*, Journal of Sensor, 2017, pp.1-21.
- [5] Zhu, L., Yang, A., Wu, D., Liu, L, *Survey of Indoor Positioning Technologies and Systems*, In: Ma S., Jia L., Li X., Wang L., Zhou H., Sun X. (eds) Life System Modeling and Simulation. ICSEE 2014, LSMS 2014. Communications in Computer and Information Science, vol 461. Springer, Berlin, Heidelberg, 2014, pp.400-409.
- [6] Zafari, F., Gkelias, A., Leung, K.K., *A Survey of Indoor Localization Systems and Technologies*, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2019, pp: 1-1
- [7] Zhuang, Y., Yang, J., Li, Y., Qi, L., El-Sheimy, N., *Smartphone-Based Indoor Localization with Bluetooth Low Energy Beacons*, Sensors 16(5), 2016, pp.1-20.
- [8] Inoue, Y., Sashima, A., Ikeda, T., Kurumatani, K., *Indoor Emergency Evacuation Service on Autonomous Navigation System using Mobile Phone*, ISUC '08 Proceedings of the 2008 Second International Symposium on Universal Communication, IEEE Computer Society Washington, DC, USA, 2008, pp.79-85.
- [9] Kriz, P., Maly, F., Kozel, T., *Improving Indoor Localization Using Bluetooth Low Energy Beacons*, Mobile Information Systems, 2016, pp.1-11.
- [10] Oliveira, C., Andrade, A.O., Oliveira, E.C., Cardoso, A., Lamounier, E., *Indoor navigation with mobile augmented reality and beacon technology for wheelchair users*, 2017 IEEE EMBS International Conference on Biomedical & Health Informatics (BHI), Orlando, FL, USA, 2017.
- [11] Rajagopal, N., Chayapathy, S., Sinopoli, B., Rowe, A., *Beacon placement for range-based indoor localization*, 2016 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Alcalá de Henares, Spain, 2016, pp.1-8.
- [12] Sheinker, A., Ginzbur, B., Salomonski, N., Frumkis, L., Kaplan, B., Moldwin, M.B., *A method for indoor navigation based on magnetic beacons using smartphones and tablets*, Measurement 81, 2016, pp.197-209.

# Estimation of Human Body Dimensions from Image

<sup>1</sup>Jaroslav FOLTÍN, <sup>2</sup>Ondrej KAINZ, <sup>3</sup>Miroslav MICHALKO,  
<sup>4</sup>Rastislav PETIJA, <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>rastislav.petija@tuke.sk, <sup>5</sup>frantisek.jakab@tuke.sk

**Abstract** — The goal of this research was to propose the system that will enable detection of a person in the image and estimate its dimensions. The algorithm was selected, following the analysis, for the part of the system which task is to estimate the human dimensions. The result is the experimental program solution that allows to detect a person in the captured video and determine its height, head size, torso, shoulder and leg dimensions. The testing found that the system meets all the required functionality. With the proposed solution, it is possible to achieve relatively accurate results of the estimated dimensions.

**Keywords** — Camera calibration, human detection, human dimensions estimation.

## I. INTRODUCTION

Computer vision, which includes image processing and evaluation, is one of the areas of science that have made significant progress in the last few years. In the world, the number of applications or systems that require detection and recognition of objects or people from the scanned image has increased significantly. Examples are various automotive assistance systems that help detect road barriers. Another example is security camera systems that detect the movement of people. In these applications, it is often necessary to determine the size of objects or persons. Today, there are several types of algorithms or methods that can be used to detect the size of the object from a static or dynamic image. The goal of this research is to create a system that can be used to detect a person in a image (or video) and estimate its height and selected dimensions. Such a system could be particularly useful in the field of security, where the video camera image needs to be evaluated.

## II. OBJECT DETECTION AND RECOGNITION ALGORITHMS

In the field of computer vision, there are several types of algorithms or methods for detecting and recognizing objects in an image. In this work we have analyzed several types of these algorithms.

*Adaptive Contour Feature (ACF)* is a new method for detecting and segmenting human in the image, as described by its authors [1]. The essence of this method is to flexibly describe the outline of an object in the Oriented Granular Space (OGS). The granular space is, according to [2], a special range of the original processed image space. The function of ACF is to define the chain of granules in the OGS to describe the contour that surrounds the detected object. The principle is to compare the contours described by the ACF with the real image of the measured object.

*BRIEF algorithm.* Today's computer vision applications, including object recognition, camera calibration, and various 3D reconstructions, require a significant amount of computing resources and can be implemented on systems with limited computing capabilities. The Binary Robust Independent Elementary Features (BRIEF) algorithm was developed by the authors [3]. It also uses a smaller amount of computing resources of the device, therefore it is suitable for implementation in mobile applications. The possibilities of implementing the BRIEF algorithm are shown in its use in the detection of identical images [4].

*HOG algorithm.* For the purpose of detecting a person in a dynamic image, the Histogram of Oriented Gradient (HOG) algorithm has been developed, as in [5]. Using the HOG algorithm, the descriptor can be recognized by moving people even when the camera or background position changes. The HOG method creates a grid in the image where each grid cell contains a local histogram of its orientation. The gradient vector value is determined for each pixel in the image.

These values are calculated for each pixel of the cell. The cells are then grouped into blocks to form normalized histograms, see Fig. 1. The results are then processed by a classifier that determines whether a person or object is in the image. For the purpose of developing a system for the detection of persons in motion, the authors [5], [6] and [7] implemented a linear support vector machine (SVM) classifier [8]. This classifier represents a simple learning framework through which the system can detect well visible people.

*SIFT algorithm.* For computer vision applications such as image recognition or image comparison, the Scale Invariant Feature Transform (SIFT) algorithm has been developed as defined in [9]. This algorithm extracts features from the reference image and stores them in the database. These stored features are later compared to the features of the search image. A large number of these image features and their comparison with a large number of stored features provide significant advantages in detecting objects or scenes.

*The Speed-Up Robust Feature (SURF) algorithm* was developed to find the same image points between two identical scenes as defined in [10]. Finding the same points in the image is of great importance for applications such as camera calibration, object recognition and image search, or 3D modeling.

*WLD algorithm.* To improve the properties of the SIFT algorithm, the Weber Law Descriptor (WLD) algorithm has been implemented as defined by its authors [11]. The designed WLD algorithm uses SIFT to calculate gradient histograms and their orientation from the image. Unlike a SIFT algorithm that defines values only for points of interest, WLD determines these values for each pixel in the image. These values depend on the local variation in intensity between the pixel and its neighboring pixels, as well as the intensity of the center pixels. The main applications of the WLD algorithm include face and texture recognition as defined in [11].

### III. OBJECT DIMENSIONS ESTIMATION FROM IMAGE

In the field of computer vision, there are several methods and approaches that can be applied to the need to estimate the dimensions of an object or person from an image. The aim of this analysis was to find a suitable type of algorithm for estimating the dimensions of a person from an image.

#### A. Dimensions estimation using reference object

One way to determine the dimensions of an object from an image is to use a reference object that is located next to the object whose dimensions we are trying to determine. Thus, the recorded image has a reference object of known size and an object of unknown size. Author in [13] states that two requirements with respect to a reference object need to be met for this object size measurement methodology:

- The reference object must have exactly defined dimensions (width or height) in measurable units, for example in millimeters.
- The reference object in the image must be uniquely identifiable. We can find an object based on its location in the image or its unique shape and appearance.

To calculate the size of a search object, source [13] defines the following procedure:

1. First, it is necessary to determine the actual size of the reference object.
2. It is necessary to make a snapshot with the object for estimation and the reference object.
3. The input image needs to be converted to shades of gray and applied to a Gaussian filter.
4. Finding external edges on both objects. In case of finding the height of the object it is its bottom and top edge and then extracting the size in pixels.
5. Determining the  $k$  ratio between the actual height  $h_1$  and the size in pixels  $p_1$  of the reference object, as in (1). To calculate the ratio, use the following equation:

$$k = \frac{p_1}{h_1} \quad (1)$$

6. We substitute the calculated value into the equation, as in (2), to calculate the height  $h_2$  of the object to be searched, where  $p_2$  is its height in pixels.

$$h_2 = \frac{p_2}{k} \quad (2)$$

The proposed method has several limitations that can cause measurement inaccuracies. When recording an image, it is necessary that the device is placed in a plane perpendicular to the objects. Also, an object whose dimensions are detected should be placed on the same plane as the reference object. The main advantage of this method is that it is not necessary to know the camera distance from the object or its location height.

#### B. Dimensions estimation using triangulation

For the purpose of calculating the depth of field and 3D coordinates of an object in the image, a method based on triangulation was developed by the authors [14]. An important advantage of



this method is the processing of only one 2D image using a single camera. The implemented algorithm requires the input at which the sensing device is located, the angle at which the device senses the image and the field of view of the device. Using these data, the method allows you to estimate the dimensions of an object (height and width) and also determine the distance between two objects.

### C. Dimensions estimation using vanishing lines

One way of estimating the size of a person from an image is to extract various image parameters from the video. As defined by [15] using the normal scene of people, it is possible to extract 3D coordinates and a shadow model. Recorded data is used in applications such as detection, determination of the relative depth of the plane or detection of the trajectory of human movement.

### D. Dimensions estimation using orthogonal vanishing points

The authors [16] implemented a new algorithm for retrieving object dimensions using orthogonal vanishing points. Using the proposed algorithm, it is possible to determine the dimensions of an object from one uncalibrated image. The implemented algorithm can estimate the dimensions of objects in the same segments (in the same line) or in the same orthogonal direction.

## IV. DESIGN OF A HUMAN DIMENSIONS ESTIMATION SYSTEM

The system itself will be composed of the following hardware elements:

- Scanning device (camera) - will record the image that will be subsequently evaluated by the program.
- Computing device (computer) - a program will run on the device to evaluate the input image from the capture device.

From a software perspective, a program will be made up of only one executable software solution to detect a person in the image and then determine the approximate height and dimensions of the person being measured. The program output will be a file in a specified format that can be stored locally on the computing device.

### A. Detection function design

Based on the analysis of algorithms for human detection in the image we can say that for this part of the system solution we can use the HOG algorithm. This algorithm has been implemented in various computer vision applications that have focused on human detection from the image. The algorithm can detect a person in a dynamic image (video). We will use this option to implement a part of the system whose task is to detect a person from the video.

### B. Estimation function design

To implement our system, we chose an algorithm that uses a reference object to determine the dimensions of the image. In this algorithm, the actual size of the reference object needs to be predefined. The image ratio between the image size of the scanned object and its actual size is the coefficient  $k$  by which we can calculate the actual size of the person, see Fig. 2. Important in this method is that the camera records the image perpendicular to the image plane.

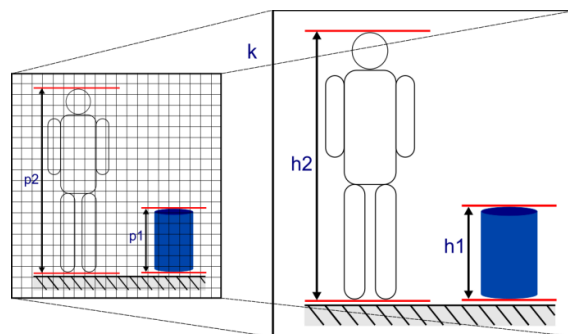


Fig. 2. Diagram showing the principle of person height estimation using a reference object. The variable  $k$  represents the image ratio of the scanned image (left) and the actual scene (right).

## V. EXPERIMENTAL SYSTEM IMPLEMENTATION

The implementation results in an executable program with a graphical interface for Windows OS. The essential part of the implemented system is the OpenCV library.

### A. System function for person detection

The HOG algorithm was used to implement the function of the person-in-picture detection system. The algorithm can detect a person in both static and dynamic images. The second option of the algorithm has proven necessary in our solution, as the system processes the video in real

time. To implement the detection function, we used the OpenCV library in which the HOG is implemented. Also included in this library is a classifier that evaluates whether a person is in the image based on histograms of oriented gradients. If the program determines that a person is in the captured video, a colored rectangle is drawn around the person in the video program view, see Fig. 3. The automatic detection of a person can be used if it is necessary to detect a person in the scanned video without the need to estimate its dimensions.

### B. System function for height and dimension estimation

The primary parameter of the person targeted by the implemented system is the person's height. Other parameters the size of which can be estimated by the system is the size of the head, torso, arm and leg. In both cases, the dimension estimation is based on the reference object whose actual size is predefined. The procedure for dimension estimation is as follows:

1. You need to find the reference object in the video view and measure its size in pixels using a border. It is also necessary to enter its actual size in millimeters into the program.
2. To calculate parameters, the system calculates the image ratio that is determined based on the reference object.
3. If the object is measured, we can proceed to the estimation of height and dimensions. This is done by delimiting the part of the human body we want to measure and pressing the appropriate button for that dimension.

During dimension estimation, the following conditions are necessary:

- The person and the reference object must be on the same plane.
- The person must stand upright with the shoulders placed along the body.
- The camera must scan the image perpendicular to the image plane.

### C. Exporting measured data

The implemented system can process the measured data and save it into two types of files. The first way to store measurements is to create a table that contains the individual measured parameters of the person. The table itself is displayed in the user interface and can be exported as an output file for Microsoft Excel. The second way to save measurements is to create an XML file with a defined structure.



Fig. 3. Detecting a person in the system using the HOG algorithm.

## VI. TESTING OF SYSTEM

The first part of the testing is focused on the function for detecting the person in the image. In this section, we measured the time needed to make the system draw a rectangle around the person being detected. When testing the dimension estimation, we measured the accuracy of measured results against real values.

### A. Detection testing

When testing a real-time person-to-person video detection system, we focused on the time needed to successfully detect a person depending on the detection threshold value. This value can be set in the system from 0 to 2 with a 0.10 offset. This value determines the accuracy of detection. When this value is set to 0, inaccurate detections can occur, where only part of the person is detected. For our testing, we chose four values for which inaccurate detection did not occur, as shown in Table 1. We focused on the temporal impact of these values on person detection when capturing a 640x360px video. The recorded time is the time from the start of the video capture to the drawing of the rectangle around the person. The time was measured in seconds and the purpose of this testing was to prove the claim that increasing the value for the detection threshold affects the total time for person detection. Table 1 shows only successful detections when the rectangle was drawn around the whole person.

Table 1  
 Time duration of person detection for selected detection threshold values

| Threshold  | Detection time (s) |    |    |    |    |    |   |    |    |    | Average time (s) |
|------------|--------------------|----|----|----|----|----|---|----|----|----|------------------|
| <b>0.5</b> | 1                  | 1  | 1  | 1  | 2  | 1  | 1 | 1  | 1  | 5  | <b>1.5</b>       |
| <b>1.0</b> | 3                  | 1  | 1  | 8  | 1  | 1  | 1 | 1  | 5  | 5  | <b>2.7</b>       |
| <b>1.5</b> | 25                 | 11 | 29 | 7  | 10 | 36 | 6 | 32 | 14 | 25 | <b>19.5</b>      |
| <b>2.0</b> | -                  | -  | -  | 36 | -  | -  | - | -  | 45 | 12 | <b>-</b>         |

*B. Estimation testing*

Testing the function for estimation was focused on how exactly the implemented system can measure selected parameters. For test measurements, the height of the person and its selected parameters were measured: head, torso, arm and leg size. All measured data were later compared to the actual values of these parameters. First, we focused on the height estimation of the persons measured (*Person 1* and *Person 2*). We performed 10 measurements during this test. For the first five measurements, the person measured was facing the camera, while the camera measured the person laterally for further measurements. The measured results are shown in Table 2. The table also contains the difference measurement values from the actual height of the person. The last row of the table shows the average height and difference value.

Table 2  
 Measured values of height estimation

|                 | <i>Person 1</i> |                 | <i>Person 2</i> |                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Height:         | <b>1677 mm</b>  |                 | <b>1680 mm</b>  |                 |
|                 | estimation [mm] | difference [mm] | estimation [mm] | difference [mm] |
| 1.              | 1684            | 7               | 1703            | 23              |
| 2.              | 1684            | 7               | 1673            | 7               |
| 3.              | 1684            | 7               | 1660            | 20              |
| 4.              | 1703            | 26              | 1673            | 7               |
| 5.              | 1703            | 26              | 1685            | 5               |
| 6.              | 1652            | 22              | 1640            | 40              |
| 7.              | 1665            | 12              | 1637            | 43              |
| 8.              | 1658            | 19              | 1639            | 41              |
| 9.              | 1671            | 6               | 1639            | 41              |
| 10.             | 1658            | 19              | 1646            | 34              |
| <b>Average:</b> | <b>1676,2</b>   | <b>15,1</b>     | <b>1659,5</b>   | <b>26,1</b>     |

The most accurate measurement was obtained for the second person, where the difference between the actual size was only 5 mm. Also, the largest difference of 43 mm was achieved when measuring the other person. On the other hand, when measuring the first person, the average height was 1672.2 mm, which is only 0.8 mm difference from the actual height. The total mean deviation for the first measurement is 15.1 mm, which is only 0.91% difference from the actual height of 1677 mm. In the second measurement, the average deviation is 20.5 mm, which is 1.22% difference from the actual height of 1680 mm. When measuring the dimensions of the first person, as shown in Table 3, the most accurate results were obtained in estimating head and shoulder. For example, when estimating arm size, a measurement was obtained at which the difference value is only 1 mm. The biggest differences were in the measurements of the torso where the average deviation was 30.4 mm. Here we assume that this deviation was caused by inaccurate torso marking in the scanned image. As with the first person, we achieved the most accurate results in head and arm estimation. Overall, the biggest deviations were in the measurements of the torso and leg. In particular, these could be due to inaccurate marking of these dimensions in the image or their inaccurate measurement at the beginning of the measurement.

Table 3  
 Measured values of dimensions estimation (person 1)

|             | Head          |             | Torso         |             | Arm           |             | Leg            |             |
|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|----------------|-------------|
| Size:       | <b>200 mm</b> |             | <b>435 mm</b> |             | <b>570 mm</b> |             | <b>1042 mm</b> |             |
|             | est. [mm]     | diff. [mm]  | est. [mm]     | diff. [mm]  | est. [mm]     | diff. [mm]  | est. [mm]      | diff. [mm]  |
| 1.          | 196           | 4           | 449           | 14          | 557           | 13          | 1031           | 11          |
| 2.          | 183           | 17          | 487           | 52          | 563           | 7           | 1012           | 30          |
| 3.          | 215           | 15          | 455           | 20          | 569           | 1           | 1031           | 9           |
| 4.          | 221           | 21          | 455           | 20          | 576           | 24          | 1076           | 34          |
| 5.          | 196           | 4           | 481           | 46          | 582           | 12          | 1050           | 8           |
| <b>Avg:</b> | <b>202,2</b>  | <b>12,2</b> | <b>465,4</b>  | <b>30,4</b> | <b>569,4</b>  | <b>11,4</b> | <b>1040</b>    | <b>18,4</b> |

The accuracy of estimation was also tested for the impact of distance from the camera. Measurements were made at three different distances. The largest deviations in measurements

were at distances of 3000 mm and 7000 mm. The most accurate measurements were achieved at a distance of 5000 mm. On the other hand, average values for height approach the actual value measured at a distance of 7000 mm. In this case, the average measured value differs from the actual value by 2.8 mm, which represents only 0.17% difference from the actual height of 1677 mm. At a distance of 3000 mm, the average value differs from the actual value by 5.2 mm, representing a 0.31% difference. At a distance of 5000 mm, the average value differs by 11 mm, which represents 0.66% difference from the actual height of 1677 mm.

## VII. CONCLUSION

As part of the research presented in this paper was developed the experimental program solution that can be used to detect people in the video in real-time. Once the person appears in the image, the system draws a border around it. One of the main functions of the work was to estimate the height and size of the selected dimensions (head, torso, arm, leg) from the captured video. Using the reference-object-based estimation, relatively accurate results were obtained when determining the height of a person. Measurements of head and arm were most accurate in terms of estimating a person's dimensions. Worse results were observed in case of torso and leg estimation. In this case, we attribute inaccuracies in measurements in particular to manual labeling of these dimensions. Inaccurate results were also due to the fact that the person and the object were not on the same plane. The result of this work is a prototype of a system that finds application in the field of security, where the movement of people in video captured in real time needs to be detected. Another application will find a suggested solution in applications where it is necessary to measure the height of a person or its dimensions from an image.

## ACKNOWLEDGMENT

This publication is the 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. We support research activities in Slovakia/This project is being co-financed by the European Union.

## REFERENCES

- [1] Gao, Wei, Haizhou Ai, and Shihong Lao. "Adaptive contour features in oriented granular space for human detection and segmentation." *Computer Vision and Pattern Recognition, 2009. CVPR 2009. IEEE Conference on*. IEEE, 2009.
- [2] Huang, Chang, et al. "Learning sparse features in granular space for multi-view face detection." *Automatic Face and Gesture Recognition, 2006. FGR 2006. 7th International Conference on*. IEEE, 2006.
- [3] Calonder, Michael, et al. "BRIEF: Computing a local binary descriptor very fast." *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 34.7 (2012): 1281-1298.
- [4] Huang, Jingjin, et al. "A New FPGA Architecture of FAST and BRIEF Algorithm for On-Board Corner Detection and Matching." *Sensors* 18.4 (2018): 1014.
- [5] Dalal, Navneet, Bill Triggs, and Cordelia Schmid. "Human detection using oriented histograms of flow and appearance." *European conference on computer vision*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006.
- [6] Watanabe, Tomoki, Satoshi Ito, and Kentaro Yokoi. "Co-occurrence histograms of oriented gradients for pedestrian detection." *Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009.
- [7] Dalal, Navneet, and Bill Triggs. "Histograms of oriented gradients for human detection." *Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on*. Vol. 1. IEEE, 2005.
- [8] Boser, Bernhard E., Isabelle M. Guyon, and Vladimir N. Vapnik. "A training algorithm for optimal margin classifiers." *Proceedings of the fifth annual workshop on Computational learning theory*. ACM, 1992.
- [9] Lowe, David G. "Distinctive image features from scale-invariant keypoints." *International journal of computer vision* 60.2 (2004): 91-110.
- [10] Bay, Herbert, et al. "Speeded-up robust features (SURF)." *Computer vision and image understanding* 110.3 (2008): 346-359.
- [11] Chen, Jie, et al. "WLD: A robust local image descriptor." *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence* 32.9 (2010): 1705-1720.
- [12] Zhang, Zhengyou. "Camera calibration with one-dimensional objects." *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence* 26.7 (2004): 892-899.
- [13] Measuring size of objects in an image with OpenCV by Adrian Rosebrock on March 28, 2016 in Image Processing, Tutorials
- [14] Salih, Yasir, and Aamir S. Malik. "Depth and geometry from a single 2d image using triangulation." *Multimedia and Expo Workshops (ICMEW), 2012 IEEE International Conference on*. IEEE, 2012.
- [15] Rother, Diego, Kedar A. Patwardhan, and Guillermo Sapiro. "What can casual walkers tell us about a 3D scene?." *Computer Vision, 2007. ICCV 2007. IEEE 11th International Conference on*. IEEE, 2007
- [16] Peng, Kun, et al. "Single view metrology along orthogonal directions." *Pattern Recognition (ICPR), 2010 20th International Conference on*. IEEE, 2010.

# Možnosti znižovania strát v sieti

<sup>1</sup>Daniel PÁL, <sup>2</sup>Lubomír BEŇA, <sup>3</sup>Jakub URBANSKÝ

<sup>1,2,3</sup> Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>daniel.pal@tuke.sk, <sup>2</sup>lubomir.bena@tuke.sk, <sup>3</sup>jakub.urbansky@tuke.sk

**Abstrakt** — Život ľudí a fungovanie našej spoločnosti je v dvadsiatom prvom storočí značne závislý od elektrickej energie. Výroba a distribúcia elektrickej energie však prešla v posledných desaťročiach značnými zmenami. Tradičné, centralizované siete postupne nahradia Smart siete, fosílné zdroje sú postupne nahradené obnoviteľnými zdrojmi. Otázka znižovania strát v sieti je však stále aktuálna. Článok sa snaží priblížiť formy znižovania strát v sieti, ako aj ujasniť otázky okolo miery nožnej úspory strát. Prvá časť článku je venovaná téme centralizovaných sietí a typických obnoviteľných zdrojov energie a následne poukazuje na vznik a fungovanie inteligentných sietí. Nasledujúca časť sa venuje možnostiam znižovania strát vznikajúcich pri prenose elektrickej energie.

**Kľúčové slová** — distribuovaná generácia, fosílna palivá, inteligentné siete, obnoviteľné zdroje energie.

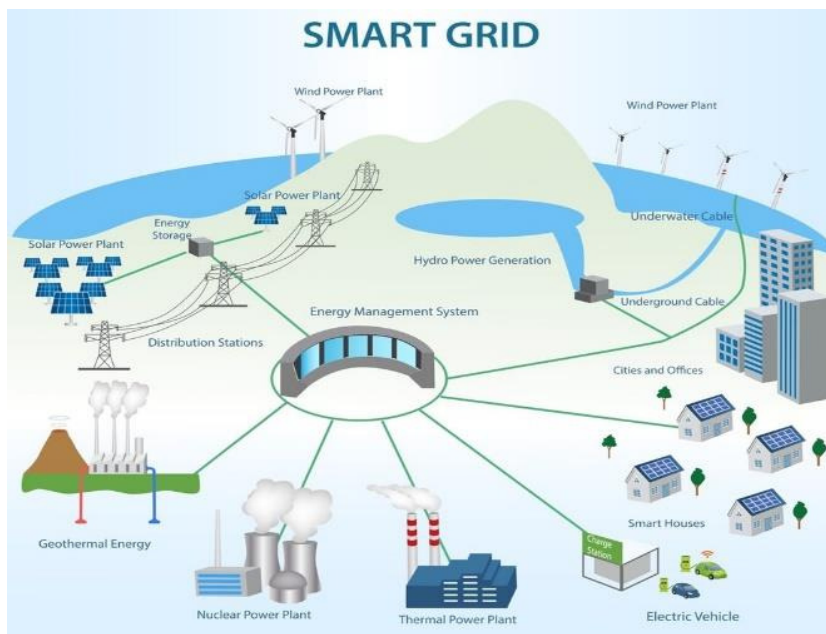
## I. ÚVOD

V súčasnosti sa najčastejšie používa takzvaná centralizovaná výroba elektrickej energie. Centralizovaná výroba predstavuje takú formu výroby elektrickej energie, v ktorej je elektrická energia vyrábaná vo veľkých elektrárňach, ktoré sa nachádzajú vo veľkých vzdialenostiach od koncových užívateľov. Množstvo vyrobenej elektrickej energie je založené na štatistike, ktorá vychádza zo spotreby elektrickej energie v minulosti. Po výrobe elektrickej energie, je napätie zdroja transformované do vyššej napäťovej hladiny, z dôvodu zníženia strát pri prenose po vedeniach. V blízkosti spotrebiteľa napätie transformované späť do nižšej napäťovej hladiny [1].

Pri náraste podielu obnoviteľných zdrojov energie sa klasická centralizovaná schéma mení na decentralizovanú výrobu elektrickej energie. Vďaka obnoviteľným zdrojom energie je v súčasnosti ekonomicky dostupné vyrábať elektrickú energiu priamo na mieste spotreby. Pri prebytku energie je pomocou akumulátorov možné aj jej ukladanie na použitie v čase potreby. V elektrickej sieti sa preto čoraz častejšie objavujú nové zdroje a nové technológie, s ohľadom na rozvoj informačných technológií. Vzniká potreba novej komunikácie medzi takýmito komponentami. Z elektrickej siete po týchto zmenách vzniká inteligentná sieť (SMART GRID).

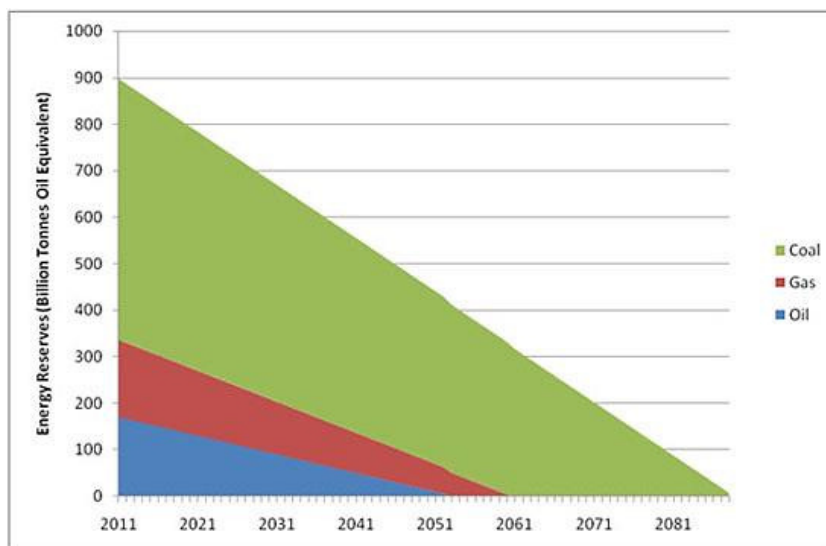
## II. SMART GRID A OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE

Inteligentné siete sú automatizované systémy, ktoré pomocou technologických zariadení sledujú toky elektrickej energie v elektrickej sieti, aby bola dosiahnutá maximálna energetická účinnosť. Inteligentné siete teda kombinujú tradičné technológie v elektrickom systéme pomocou nových technológií. Typické znázornenie inteligentnej siete je možné vidieť na Obr. 1, kde sú znázornené aj tradičné prvky v elektrizačnej sústave ako napr. tepelné elektrárne, prenosové vedenie a domácnosti. Na Obr. 1. je možné vidieť aj nové prvky ako sú napríklad obnoviteľné zdroje energií, elektrické autá alebo domácnosti riadené inteligentnými prvkami. Medzi zariadenia, ktoré zabezpečujú komunikáciu medzi jednotlivými časťami inteligentnej siete patria napr. inteligentné elektromery, ktoré sledujú aktuálnu spotrebu elektrickej energie.



Obr. 1 Inteligentná (SMART) sieť [2]

Téma inteligentných sietí je v dnešnej dobe čoraz aktuálnejšia, keďže elektrickú energiu je potrebné využívať čo najefektívnejšie. Energiu je potrebné prenášať od výroby až do miesta spotreby s najmenšími možnými stratami. Momentálne vo výrobe elektrickej energie stále dominujú fosilné elektrárne, avšak zásoby fosilných palív každoročne klesajú. Na Obr. 2 sú znázornené rezervy fosilných palív. Najväčšie zásoby sú vo forme uhlia. Z týchto údajov vzniká predpoklad, že súčasné zásoby uhlia dokážu pokryť dopyt po energii v tomto storočí. Skutočnú veľkosť rezerv je však ťažké odhadnúť. Nie je možné vylúčiť ani nájdenie nových ložísk, ktoré by ovplyvnili čas používania týchto zdrojov. Z dôvodu poklesu týchto zásob je potrebné nájsť alternatívne zdroje, ktoré budú vyrábať elektrickú energiu v budúcnosti..

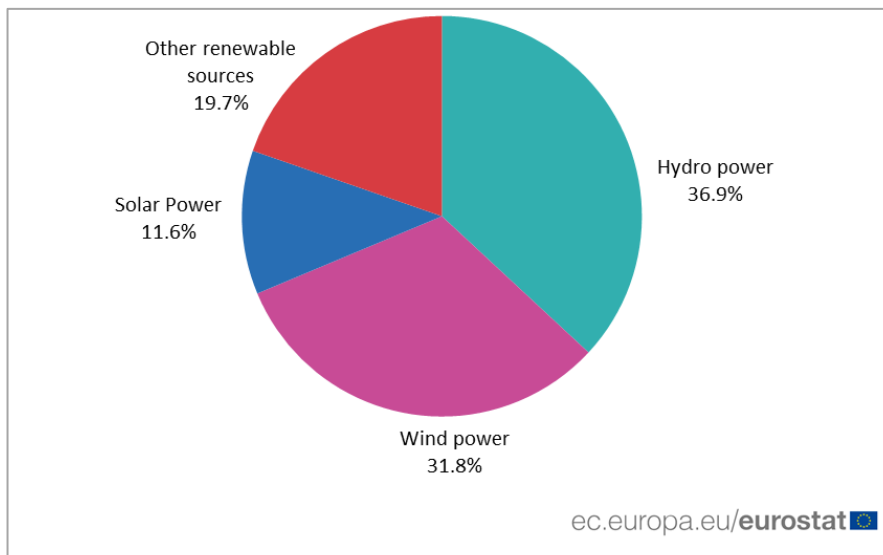


Obr. 2 Zásoby fosilných palív [3]

Jednu z týchto alternatív predstavuje používanie obnoviteľných zdrojov energie. Obnoviteľné zdroje energie sú zdroje, ktoré sú nevyčerpatelné, lebo sa obnovujú pri ich využívaní v dostatočnom časovom horizonte. Do obnoviteľných zdrojov energie patrí:

- solárna energia,
- veterná energia,
- vodná energia,
- biomasa,
- ostatné zdroje – napr. geotermálna energia.

Podiel obnoviteľných zdrojov energie v Európskej únii znázorňuje Obr. 3. 37 % z obnoviteľných zdrojov energie predstavuje vodná energia, až potom nasleduje veterná a solárna.



Obr. 3 Podiel obnoviteľných zdrojov energie v Európskej únii z roku 2016 [4]

Podiel obnoviteľných zdrojov sa bude postupne zvyšovať na celom svete a preto je viac ako nevyhnutné zaviesť elektrický systém, ktorý môže súčasne spĺňať podmienky bezpečnosti a spoľahlivosti. Jednou z možností je použitie technológií SMART, ktoré zabezpečia, aby boli sledované všetky parametre, ktoré sú dôležité z hľadiska prevádzky.

Očakávané prínosy využívania inteligentných sietí sú nasledovné:

- zlepšovanie parametrov z hľadiska kvality a spoľahlivosti elektriny,
- optimálna výroba elektrickej energie v elektrárnach,
- zvýšenie kapacity a efektívnosti elektrických vedení,
- používanie distribuovanej výroby,
- automatizácia údržby a prevádzky,
- možnosť využitia obnoviteľných zdrojov energie vo výrobe,
- zníženie používania fosílnych elektrární a tým pádom zníženie emisií skleníkových plynov [5].

### III. MOŽNOSTI ZNÍŽOVANIA VÝKONOVÝCH STRÁT V INTELIGENTNÝCH SIEŤACH

Predpokladá sa, že zásoby sa minú už tomto storočí a tým pádom v blízkej budúcnosti bude treba nájsť adekvátnu náhradu, aby výroba elektrickej energie bola bezproblémová aj po vyčerpaní jednotlivých zásob. Jedna z možností je používanie veľkých obnoviteľných zdrojov energie ako náhradu za klasické elektrárne, teda v blízkosti niekdajších elektrární by vznikli nové veľké elektrárne. Centralizovaná výroba by bola zachovaná aj naďalej. Druhou možnosťou je náhrada veľkých elektrární väčším počtom malých elektrární, ktoré by boli rozptýlené v sieti. Vznikla by takzvaná distribuovaná generácia, pomocou ktorej by vyrobená elektrická energia bola spotrebovaná hneď v blízkosti výroby a preto by ju nebolo potrebné prenášať do vzdialenejších oblastí a tým by sa znížili aj straty, ktoré vznikajú pri prenose. Stopercentnú účinnosť nie je možné dosiahnuť, straty vzniknú vždy, tieto straty je však možné minimalizovať. V článku sú priblížené 2 metódy na znižovanie strát:

- používanie malých elektrární a distribuovanej generácie,
- rekonfigurácia existujúcich sietí.

#### A. Používanie distribuovanej generácie

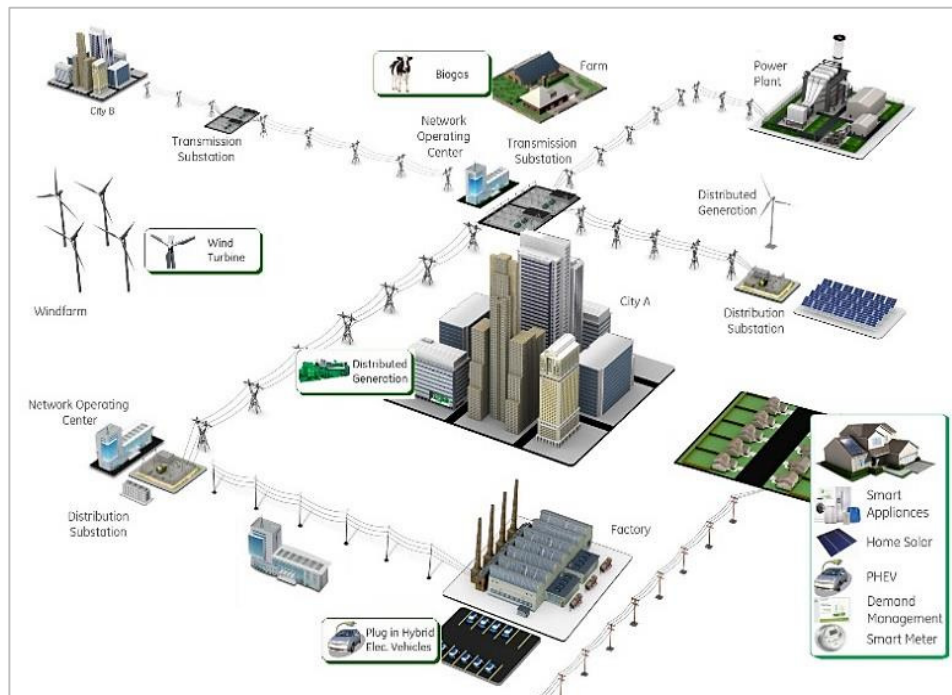
V tomto prípade je možné počítať s dvomi prípadmi:

1. *Umiestnenie a inštalácia všetkých elektrární v sieti je už vopred dané* - v tomto prípade je možné meniť len množstvo vyrobenej elektrickej energie a pomocou neho ovplyvniť straty pri prenose. Väčšie množstvo elektrickej energie by bolo potrebné vyrábať tam, kde je výrazná aj spotreba. Avšak v skutočnosti je toto riešenie veľmi zložité, keďže výrobu elektriny z obnoviteľných zdrojov ovplyvňujú najmä klimatické podmienky, ktoré sú v súčasnosti ťažko predikovateľné.
2. *V sieti sú inštalované len veľké elektrárne* - k veľkým elektrárnam je možné zaradiť napríklad jadrové, tepelné alebo veľké vodné elektrárne. Umiestnenie malých elektrární v sieti je takmer ľubovoľné, no pri ich umiestnení je potrebné pozorovať klimatické podmienky, lebo tento parameter má veľký vplyv na typ a veľkosť inštalovaných elektrární. Najlepšie výsledky aj v tomto prípade je možné dosiahnuť



vtedy, ak väčšie množstvá elektrickej energie budú vyrobené v blízkosti väčšej spotreby [6][7][8].

Typickú sieť aj s veľkými aj s malými elektrárnami znázorňuje Obr. 5.



Obr. 4 Distribuovaná generácia [9]

Pri aplikovaní distribúovanej generácie sú zvyčajne používané obnoviteľné zdroje energie, lebo majú kompaktnější rozmer pri porovnaní s jadrovými alebo tepelnými elektrárnami. Ďalším dôvodom je to, že je oveľa jednoduchšie postaviť malé zdroje ako veľké zdroje. Typické výkonové hodnoty distribúovanej generácie sú nasledovné:

- Vodné elektrárne
  - Malé → 0,025 MW – 1 MW
  - Veľké → 1 MW – 100 MW
- Veterné elektrárne → 200 W – 3 MW
- Solárne elektrárne → 20 W – 100 kW
- Geotermálne elektrárne → 5 MW – 100 MW
- Biomasa → 0,1 MW – 20 MW [7].

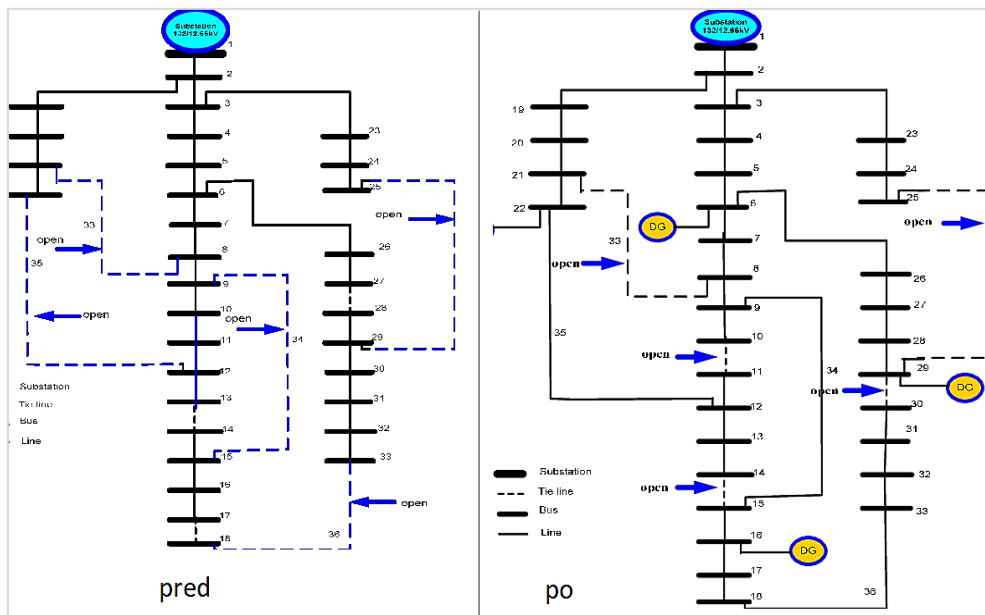
Výhody používania distribúovanej generácie:

- zvyšovanie parametrov elektriny z hľadiska kvality a spoľahlivosti,
- znižovanie strát pri prenose energie z miesta výroby do miesta spotreby,
- znižovanie produkcie skleníkových plynov,
- výpadok jedného zdroja nespôsobuje problémy v sieti [7].

#### B. Rekonfigurácia siete

Rekonfigurácia siete je pomerne novým javom. Do vedomia sa dostala najmä vtedy, kedy sa začali používať nové technológie a inteligentné siete. Tento pojem opisuje proces implementácie sieťových prepínačov, ktoré sú vopred vybrané. Prepínače môžu byť zapnuté a vypnuté, čo môže spôsobiť zmenu strát v sieti [10][11]. Rekonfiguráciu znázorňuje Obr. 6. Obrázok znázorňuje, ako vyzerá sieť pred a po rekonfigurácii. Niektoré úseky sú zmenené, sú vypnuté a tým pádom je možné ovplyvniť straty. Najčastejšie sa tieto metódy používajú spolu s distribúovanou generáciou.

Rekonfigurácia siete okrem znižovania strát má aj iné výhody, ako napríklad zníženie výpadkov siete, regulácia napätia a regulácia preťaženia siete [12].



Obr. 5 Rekonfigurácia siete [13]

Vo všeobecnosti nie je možné vyčísliť mieru možnej úspory strát pomocou distribuovanej generácie a rekonfigurácie, z dôvodu špecifických vlastností jednotlivých sústav. Jednotlivé siete sa líšia vo veľkosti výkonu elektrární, niektorých sú používané iba veľké elektrárne, ako sú napr. jadrové, vodné, tepelné, v iných sa preferuje použitie viacerých malých elektrární, ktoré sú rozložené v celej sústave. Rozdiely je možné pozorovať v množstve vyrobenej elektrickej energie ako aj v zaťažení, či v parametroch vedenia. Iné parametre sú charakteristické pre letné a iné pre zimné obdobie, taktiež sa menia aj v priebehu dňa. Z uvedených dôvodov nie je možné zníženie strát zovšeobecniť. Zistenie úspor je možné vždy iba po preskúmaní konkrétnych sústav.

Rôzne vedecké publikácie prinášajú rozdielne čísla o percentuálnej úspore strát. Vo výskume Dánskej technickej univerzity, ktorá bola založená na parametroch dánskej elektrickej sústavy zistili, že rekonfigurácia dokáže znížiť straty o 10 % [12], kým ďalšia simulácia vyčísliła mieru zníženia strát na 40 % [13]. Aj tieto dva príklady poukazujú na závislosť medzi mierou zníženia strát a parametrami sústavy. Najefektívnejšia úspora môže vzniknúť v prípade, ak nastane spolupráca medzi distribuovanou generáciou a rekonfiguráciou.

#### IV. ZÁVER

Tento príspevok sa zaoberal možnosťami zníženia výkonových strát pri prenose elektrickej energie. Prvý spôsob znižovania strát v prípade distribuovanej výroby elektrickej energie je vhodné umiestnenie zdrojov (t.j. v blízkosti spotreby energie) a optimálna voľba ich výkonu, ďalším popísaným spôsobom je realizácia rekonfigurácie siete, t.j. zmena jej topológie. Aplikáciu oboch spôsobov znižovania výkonových strát napomáha použitie prvkov inteligentných sietí, ako je kontinuálne sledovanie aktuálnej spotreby energie ako aj automatické diaľkové ovládanie a regulácia prvkov siete.

#### POĎAKOVANIE

Túto prácu podporila Vedecká grantová agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied grantom VEGA č. 1/0372/18.

#### LITERATÚRA

- [1] Electricity is delivered to consumers through a complex network. [online]. [cit. 2019.05.12]. Dostupné na internete: [https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=electricity\\_delivery](https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=electricity_delivery)
- [2] How Secure Is Our Smart Grid? [online]. [cit. 2019.05.11]. Dostupné na internete: <https://www.govtech.com/blogs/lohmann-on-cybersecurity/how-secure-is-our-smart-grid.html>
- [3] Zhao, Zhenghang. „DESIGN PRINCIPLE ON CARBON NANOMATERIALS ELECTROCATALYSTS FOR ENERGY STORAGE AND CONVERSION“. Doi: 10.13140/RG.2.2.25704.16641. Dostupné na internete: [https://www.researchgate.net/publication/318727541\\_DESIGN\\_PRINCIPLE\\_ON\\_CARBON\\_NANOMATERIALS\\_ELECTROCATALYSTS\\_FOR\\_ENERGY\\_STORAGE\\_AND\\_CONVERSION](https://www.researchgate.net/publication/318727541_DESIGN_PRINCIPLE_ON_CARBON_NANOMATERIALS_ELECTROCATALYSTS_FOR_ENERGY_STORAGE_AND_CONVERSION)
- [4] 30% of electricity generated from renewable sources. [online]. [cit. 2019.07.14]. Dostupné na internete: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/DDN-20180921-1>

- [5] X. Fang, S. Misra, G. Xue and D. Yang, "Smart Grid — The New and Improved Power Grid: A Survey," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 14, no. 4, pp. 944-980, Fourth Quarter 2012. ISSN 1553-877X
- [6] D. Rama Prabha, T. Jayabarathi, „Optimal placement and sizing of multiple distributed generating units in distribution networks by invasive weed optimization algorithm“ in *Ain Shams Engineering Journal*. Tamil Nadu, India. 2016, Volume 7, Issue 2, pp. 683-694. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447915000891>
- [7] L. I. Dulă, M. Abrudean, D. Bică, „Optimal Location of a Distributed Generator for Power Losses Improvement“ in *Procedia Technology*. Elsevier Ltd. 2016, Volume 22, pp. 734-739. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017316000335>
- [8] B. Singh, B. J. Gyanish, „Impact assessment of DG in distribution systems from minimization of total real power loss viewpoint by using optimal flow algorithms“ in *Energy Reports*. Elsevier Ltd. 2018
- [9] GRID INTER ACTION [online]. [cit. 2019.05.10]. Dostupné na internete: <http://agb-smartgrids.blogspot.com/>
- [10] R. Rekowski, „Problematyka doboru współczynnika czułości algorytmu rekonfiguracji sieci dystrybucyjnej SN“ in XVIII Konferencja Aktualne Problemy w Elektroenergetyce APE'2017. Jastrzębia Góra, Polska, 2017, No. 53, pp. 103-106. Dostupné na internete: <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element/baztech-0dea7f44-a631-4885-a17c-89050559cc46>
- [11] J. E. Mendoza, M. E. Lopez, C. A. C. Coello and E. A. Lopez, "Microgenetic multiobjective reconfiguration algorithm considering power losses and reliability indices for medium voltage distribution network," in *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 3, no. 9, pp. 825-840, September 2009. ISSN 1751-8695
- [12] G. Vaskantiras, S. You: „Value Assessment of Distribution Network Reconfiguration: A Danish Case Study“ in *Energy Procedia*. Elsevier Ltd. 2016, Volume 100, pp. 336-341. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S187661021631147X>
- [13] Mohd Dahalan, Wardiah & Mokhlis, Hazlie & Halim, Abdul & Abu Bakar, Ab Halim & Jamian, J. J.. „The Simultaneous Application of Optimum Network Reconfiguration and Distributed Generation Sizing Using PSO for Power Loss Reduction“. Dostupné na internete: [https://www.researchgate.net/publication/260109311\\_The\\_Simultaneous\\_Application\\_of\\_Optimum\\_Network\\_Reconfiguration\\_and\\_Distributed\\_Generation\\_Sizing\\_Using\\_PSO\\_for\\_Power\\_Loss\\_Reduction](https://www.researchgate.net/publication/260109311_The_Simultaneous_Application_of_Optimum_Network_Reconfiguration_and_Distributed_Generation_Sizing_Using_PSO_for_Power_Loss_Reduction)

# Vplyv parametrov trelisovej štruktúry na vektorové kvantovanie

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 pojednáva o trelisovom vektorovom kvantovaní na báze použitia Viterbiho algoritmu. Zamerali sme sa pri skúmaní tohto spôsobu vektorového kvantovania na vplyv hĺbky prehľadávania trelisu, periódu vypúšťania kódových slov a počet stavov trelisu na výslednú hodnotu pomeru signálu k šumu. Z dosiahnutých výsledkov môžeme konštatovať, že so stúpajúcou hĺbkou prehľadávania trelisu stúpal aj pomer signálu k šumu, avšak stúpajúca perióda vypúšťania kódových slov z trelisu pri vektorovom kvantovaní mala iba zanedbateľný vplyv na rast tohto pomeru. Čo sa týka počtu stavov trelisu, ako najvýhodnejšie sa ukázalo použitie 4 a 8 stavového trelisu v procese tohto spôsobu vektorového kvantovania.

**Kľúčové slová** — vektorové kvantovanie, trelis, Viterbiho algoritmus

## I. ÚVOD

Číslicová forma spracovania a prenosu informácie zaisťuje väčšiu odolnosť voči poruchám a aditívnym šumom. S cieľom znížovania prenosových rýchlostí a zvyšovania účinnosti kvantizačného procesu pri číslicovom spracovaní obrazu je nutné vyvíjať nové spôsoby návrhov kvantizátorov. Optimálne vektorové kvantizátory (OVK) [1] a suboptimálne vektorové kvantizátory s pravidelnou štruktúrou kódovej knihy, ako sú pyramidové vektorové kvantizátory (PVK) [2] či mriežkové vektorové kvantizátory (MVK) [3], nevyužívajú koreláciu vstupných hodnôt s cieľom zníženia prenosových rýchlostí. Opačný prístup ku kódovaniu zdrojov má Ungerboeckova formulácia trelisovo-kódovanej modulácie [4], ktorej základnou vlastnosťou je použitie štruktúrovanej kódovej knihy s rozšírenou množinou kvantizačných vektorov. V tomto článku bude opísaná implementácia algoritmu trelisového kódovania pre vektorové kvantizátory s ohľadom na skúmanie vplyvu hĺbky prehľadávania trelisu, periódy vypúšťania kódových slov a počtu stavov trelisu na výslednú hodnotu pomeru signálu k šumu.

## II. VEKTOROVÉ KVANTOVANIE S ONESKORENÝM ROZHODNUTÍM

Základnou vlastnosťou trelisového kvantovania je použitie štruktúrovanej kódovej knihy s rozšírenou množinou kvantizačných vektorov [4]. Trelišová štruktúra potom rozšírený počet kvantizačných vektorov obmedzí podľa požadovanej prenosovej rýchlosti. U „klasického“ vektorového kvantizátora je prehľadávanie zdrojového kódéra nasledovné – ku vstupnému vektoru musí nájsť kvantizačný vektor (symbol) z kódovej knihy, ktorý minimalizuje výsledné skreslenie. Takýto algoritmus nemusí byť optimálny, pretože výber cesty s najmenším skreslením len na aktuálnom časovom intervale môže viesť do stavu nevhodného pre nasledujúcu vstupný vektor, a spôsobiť tak väčšie skreslenie v dlhšom časovom intervale.

Jeden zo spôsobov ako sa vyhnúť tomuto problému, a teda zvýšiť účinnosť kvantovania na dlhšom časovom intervale, je oneskorené kódovanie. Namiesto porovnávanie jedného vstupného vektora s jedným symbolom kódovej knihy a produkovania zdrojového kódového slova, kódér môže súčasne uvažovať vo všeobecnosti  $L$  nasledujúcich vstupných vektorov a nájsť najmenšie výsledné skreslenie pre  $L$  zodpovedajúcich kvantizačných vektorov a vyslať im prislúchajúce zdrojové kódové slová. To zaisťuje kódéru menšie minimálne skreslenie pre  $L$  za sebou idúce vektory, než pri ich jednotlivom kódovaní každého vektora. Kódér môže vyslať jeden alebo viac (až po  $L$ ) výstupných symbolov (tzv. perióda vypúšťania kódových slov) a začať nové prehľadávanie.

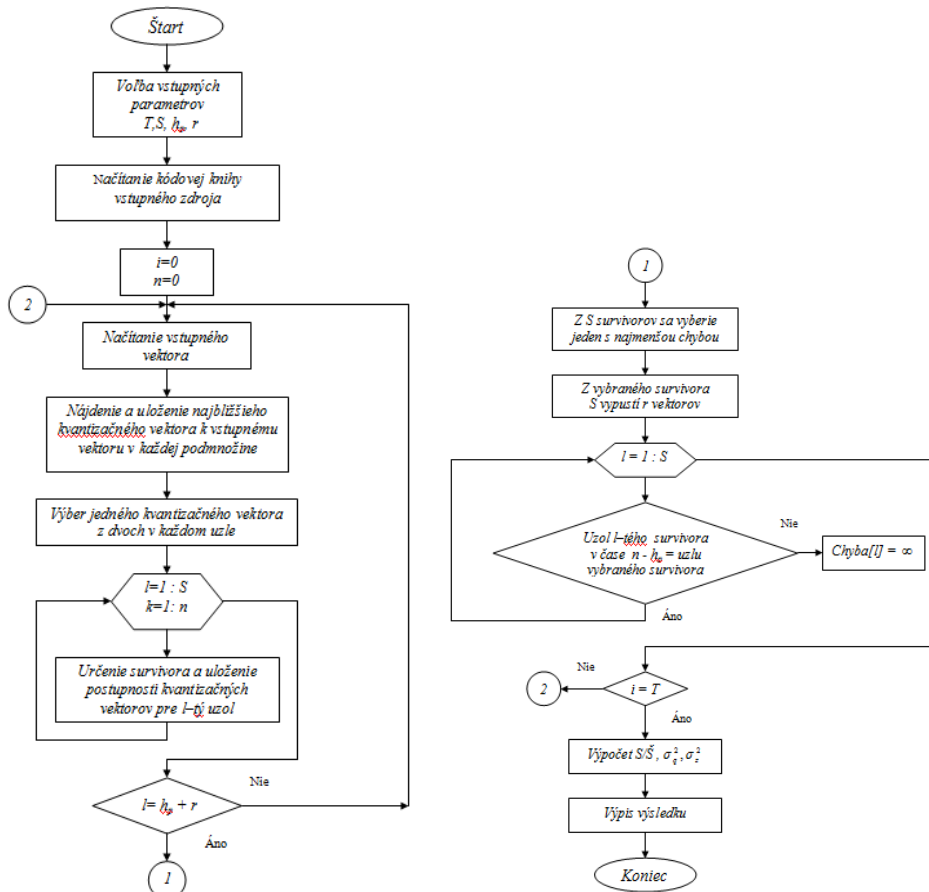
Predpokladajme stacionárny bezpamäťový zdroj s  $n$  bitmi/zložku vektora. Pri použití OVK by sme potrebovali kódovú knihu s  $2^{nv}$  kvantizačnými vektormi, kde  $v$  je rozmer euklidovského

priestoru. Pri trelisovom vektorovom kvantovaní sa vstup najprv okvantuje jemnejšie s  $2^{vn+n'}$  kvantizačnými vektormi. To by ale vyžadovalo zvýšenie stanoveného počtu bitov na vzorku, takže v danom čase môžeme použiť iba obmedzený počet kvantizačných vektorov. Kódová kniha s  $2^{vn+n'}$  kvantizačnými vektormi je rozdelená do  $D_i$  podsúborov [5], [6]. Potom prvé  $n'$  bity vysielaného kódového slova určujú stav dekodéra v čase  $t+1$  a spôsobia, že dekodér prejde do tohto stavu. Zvyšné  $vn - n'$  bity určujú výstup dekodéra v čase  $t$ . To spôsobí, že forma zmeny z jedného určitého stavu do iného je určená ľubovoľným z  $2^{vn-n'}$  binárnych slov dĺžky  $vn$ . Táto zmena je reprezentovaná v trelisovom diagrame jednou vetvou, namiesto  $2^{vn-n'}$  paralelných zmien. Preto je aj  $2^{n'}$  vychádzajúcich vetiev z každého stavu (uzla). S touto konverziou môže každá vetva trelisu z podsúboru kódovej knihy byť označená binárnym slovom dĺžky  $n'$ . Každý podsúbor  $D_i$  je skupinou kvantizačných vektorov zapísaných mimo dekodéra pomocou posledných  $vn - n'$  bitov z celého binárneho slova vysielaného kódérom. Pretože každý tento podsúbor je veľkosti  $2^{vn-n'}$ , musí byť v trelise práve  $2^{n'+M}$  podsúborov  $D_i$ , aby bola do nich rozdelená celá kódová kniha ( $M$  je celočíselná konštanta, uvažovalo sa  $M = 1$ ), [5].

Úlohou kódéra trelisového vektorového kvantovania je nájsť najlepšiu možnú postupnosť kvantizačných vektorov pre ľubovoľnú danú postupnosť vstupných vektorov (dĺžky  $L$ ). Presnejšie, nájsť zodpovedajúcu postupnosť kódových vektorov v  $S$ -stavovom trelise s kritériom minimálnej Euklidovskej vzdialenosti. Každá postupnosť kódovaných kvantizačných vektorov v trelise je opísaná výslednou cestou trelisom a výberom zakódovaných kvantizačných vektorov z kódovej knihy priradených ku vetvám trelisu. To vyžaduje  $Ln'$  bitov pre prvú časť (určenie stavu) a  $L(vn - n')$  bitov pre časť druhú (určenie vetvy trelisu), ktorá sa pridáva k celkovému počtu  $Lvn$  bitov. Pre danú postupnosť vstupných vektorov kódér používa Viterbiho algoritmus na hľadanie najlepšej postupnosti kódovaných vektorov v trelise [7], [8]. Potom nasleduje tzv. vypúšťanie všetkých  $Lvn$  bitov určujúcich túto postupnosť na konci  $S$ -stavového trelisu, ktorý používa dekodér na kvantovanie postupností. Tento proces je opakovaný pre ďalšie nasledujúce  $L$  vstupné vektory.

### III. TRELISOVÉ VEKTOROVÉ KVANTOVANIE

Princíp činnosti a vývojový diagram algoritmu trelisového vektorového kvantovania je zobrazený na obr. 1.



Obr. 1 Vývojový diagram algoritmu trelisového vektorového kvantovania.

V implementovanom algoritme tohto algoritmu má používateľ možnosť nastavenia parametrov ako sú: počet vstupných vektorov  $T$ , hĺbku prehľadávania trelistu  $h_p$ , periódu vypúšťania  $r$ , veľkosť násobiacej konštanty  $c$  (slúži na optimalizáciu veľkosti kódovej knihy), počet stavov trelistu  $S$ , štatistické vlastnosti kódovej knihy (Gaussove alebo Laplaceove rozdelenie pravdepodobnosti (GRP či LRP)), veľkosť kódovej knihy a rozmer  $v$ . Kódová kniha sa načítavala z textového súboru a súbor zdroja vstupných vektorov obsahoval údaje v binárnom tvare. Vstupný súbor musí mať nasledovný formát: prvých osem bajtov je hlavička: 01 01 01 01 01 01 01 01 (Hex). Na ďalších bajtoch idúcich za sebou sú zaznamenané desatinné (float) čísla, t.j. skaláry, pričom každý takýto skalár je vyjadrený na štyroch bajtoch.

- *Nájdenie najbližšieho kvantizačného vektora  $k$  vstupnému vektoru:*

V tomto kroku sa vykonáva klasické vektorové kvantovanie s kódovou knihou veľkosti  $N/4$ , t.j. nájdenie vektora kódovej knihy najbližšieho k aktuálnemu vektoru vstupného zdroja. Toto vektorové kvantovanie sa vykonáva len pre prvé štyri vetvy trelistu.

- *Výber jedného kvantizačného vektora z dvoch v každom uzle:*

Keďže do každého uzla vstupujú stále dve vetvy s dvoma okvantovanými vektormi, je potrebné v každom uzle vybrať tú vetvu, ktorej celková metrika je menšia. Týmto krokom v každom časovom okamihu vznikne  $S$  kvantizačných vektorov.

- *Určenie survivorov:*

V časových okamžikoch, keď sú všetky polia survivorov plné, t.j. ak  $n = h_p + r$ , vyberie sa jedna cesta trelistom s najmenšou metrikou. Z tohto sa vypustí  $r$  kvantizačných vektorov spolu s ich zakódovaním. Ak cesta niektorého survivorov s väčšou metrikou v čase  $n - h_p$  vedie do iného uzla ako cesta vybraného survivorov, je metrika tohto survivorov nastavená na nekonečno, aby sa v ďalšom zabránilo vybratiu tohto survivorov.

Výsledným údajom, podľa ktorého kvalitatívne určujeme účinnosť kvantovania, je stredná kvadratická hodnota kvantizačného šumu  $\sigma_q^2$  alebo pomer signál/kvantizačný šum (S/Š).

**Výpočtová náročnosť** vyplývajúca z algoritmu trelistového vektorového kvantovania a z Viterbiho algoritmu prehľadávania trelistu sa hodnotí podľa počtu vykonaných aritmetických operácií. Princíp algoritmu by sa dal zhrnúť do troch krokov a ich operácií:

- *Určenie metriky danej podmnožiny:*

V každej podmnožine sa vypočítajú Euklidovské vzdialenosti aktuálneho vstupu ku každému vektoru podmnožiny kódovej knihy. Táto operácia vyžaduje jedno odčítanie jedno umocnenie (násobenie) a  $v$  sčítaní.

- *Klasické vektorové kvantovanie:*

V tomto kroku sa nájde najbližší vektor danej podmnožiny kódovej knihy, t.j.  $N/2^{n+M}$  porovnaní. Táto operácia sa vykonáva len raz pre každú podmnožinu, čiže pre parametre  $n' = 1, M = 1$ , prvé štyri vetvy. Operácia kvantovania vyžaduje  $2^{n+M} \cdot 2^{n-M} = 2^{n+n'}$  porovnaní.

- *Určenie aktívnej cesty trelistom:*

V každej časovej jednotke je potrebné vykonať  $S$  porovnaní na vylúčenie jednej z dvoch (t.j.  $M$ , pričom  $2^M$  je počet vetiev vstupujúcich do uzla) ciest trelistu vstupujúcich do jedného uzla. V čase vypúšťania výstupných vektorov (t.j. ak  $t = h_p + r$ ) je potrebné vykonať  $S$  porovnaní na určenie cesty s najmenším skreslením, a taktiež spätne v čase  $t - h_p$  tiež  $S$  porovnaní na vylúčenie ciest, ktoré v tomto čase prechádzajú iným uzlom ako je vybraný survivor.

#### IV. DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY A ICH ZHODNOTENIE

Program na implementáciu trelistového vektorového kvantovania bol použitý na kvantovanie 10 000 vstupných testovacích vektorov (počet skalárov 320 000) s Gaussovým alebo Laplaceovým rozdelením pravdepodobností, s nulovou strednou hodnotou a jednotkovou disperziou pre rozmery vektorového priestoru  $v = 2, 4, a 8$ . Simulácie boli vykonané pre prenosové rýchlosti  $n = 1$  až 8 bit/vektor, konštanta  $n' = 1$ . Hĺbku prehľadávania  $h_p$ , bolo možné voliť v rozsahu 1-100 a periódu vypúšťania bitov  $r$  tiež v rozsahu 1-100.

V tabuľkách 1 a 2 sú na ukážku uvedené dosiahnuté výsledky pomeru S/Š iba pri prenosovej rýchlosti  $n = 1,5$  bit/vzorka (z toho vyplývajúca veľkosť kódovej knihy) pre postupnosť 10 000 vstupných vektorov s Gaussovým rozdelením pravdepodobnosti a pre rozmer vektorov  $v = 2$  a 4. Počet stavov bol vybraný 4, 8, a pre porovnanie aj 64. Hĺbka prehľadávania trelistu  $h_p$  bola 5, 10 alebo 25 a perióda vypúšťania  $r$  zakódovaných kvantizačných vektorov sa menila adekvátne hĺbke prehľadávania od 1, 3, 5, 10 po 25.

Tab. 1. Výsledky porovnania S/Š v dB pre rozmer  $v = 2$ 

| Štruktúra treliisu I. |     |   |           |            |
|-----------------------|-----|---|-----------|------------|
| S/Š [dB]              |     |   |           |            |
| $h_p$                 | $r$ | GRP pre $v = 2$ , $T = 10\,000$ ,<br>$n = 1,5$ bit/vzorku |           |            |
|                       |     | 4-stavový   | 8-stavový | 64-stavový |
| 5                     | 1   | 7,02  | 6,978     | 7,182      |
|                       | 3   | 7,089   | 6,466     | 5,941      |
|                       | 5   | 7,135   | 6,756     | 6,707      |
| 10                    | 1   | 7,323   | 7,183     | 7,042      |
|                       | 5   | 7,472   | 7,317     | 7,166      |
|                       | 10  | 7,491   | 7,383     | 7,155      |
| 25                    | 1   | 7,587   | 7,619     | 7,481      |
|                       | 10  | 7,595   | 7,636     | 7,5        |
|                       | 25  | 7,596   | 7,656     | 7,587      |

Tab. 2. Výsledky porovnania S/Š v dB pre rozmer  $v = 4$ 

| Štruktúra treliisu I. |     |   |           |            |
|-----------------------|-----|---|-----------|------------|
| S/Š [dB]              |     |   |           |            |
| $h_p$                 | $r$ | GRP pre $v = 4$ , $T = 10\,000$ ,<br>$n = 1,5$ bit/vzorku |           |            |
|                       |     | 4-stavový   | 8-stavový | 64-stavový |
| 5                     | 1   | 7,405   | 7,079     | 7,707      |
|                       | 3   | 7,449   | 6,685     | 6,121      |
|                       | 5   | 7,587   | 7,170     | 6,747      |
| 10                    | 1   | 7,829   | 7,618     | 7,034      |
|                       | 5   | 7,888   | 7,707     | 7,283      |
|                       | 10  | 7,932   | 7,818     | 7,537      |
| 25                    | 1   | 7,997   | 7,963     | 7,834      |
|                       | 10  | 7,997   | 9,944     | 7,864      |
|                       | 25  | 7,998   | 7,988     | 7,911      |

Z uvedených dosiahnutých výsledkoch, ako aj z výsledkov dosiahnutých pri nastavení ostatných parametrov uvedených v úvode tejto kapitoly, vyplynulo nasledovné:

- s rastúcou prenosovou rýchlosťou  $n$  pre každú štruktúru treliisu rastie pomer  $S/\dot{S}$  pri danom rozmere  $v$  pre vstupné postupnosti vektorov s GRP, a tiež LRP, čo splnilo naše očakávanie;
- pomer  $S/\dot{S}$  rastie stúpajúcim rozmerom  $v$  pri rovnakej prenosovej rýchlosti  $n$ ;
- z porovnania použitia rôznych štruktúr treliisu (použité boli tri štruktúry [5]) vyplynulo, že majú malý vplyv na výraznú zmenu pomeru  $S/\dot{S}$ . Je to zrejme spôsobené tým, že ak je dobre vykonané rozdelenie optimálnej kódovej knihy vektorového kvantizátora do dielčích podmnožín treliisu, tak výsledný  $S/\dot{S}$  je už iba málo ovplyvnený typom štruktúry;
- so stúpajúcim počtom stavov pomer  $S/\dot{S}$  nestúpa vo väčšine prípadov, bol menší, rádovo o desiatiny dB, stúpa iba v prípade prechodu zo 4-stavového na 8-stavový trelis pri hĺbke prehľadávania  $h_p = 25$ , ale tiež iba o jednotky desiatín dB;
- so stúpajúcou hĺbkou prehľadávania  $h_p$  treliisu stúpa aj pomer  $S/\dot{S}$ , napr. v Tab.1 pre rozmer  $v = 2$  a 4 stavy je rozdiel medzi  $h_p = 5$  a  $h_p = 25$  väčší 0,576 dB (pri  $r = 1$ ) a pri rozmere  $v = 4$ , 4 stavoch a  $r = 1$  (Tab.2) je to o 0,593 dB;
- so stúpajúcou periódou vypúšťania bitov  $r$  takmer vo všetkých prípadoch stúpa aj pomer  $S/\dot{S}$ , síce iba o veľmi malú hodnotu (rádovo o niekoľko stotín dB). Výnimku tvoria iba 64-stavové treliisy pri hĺbke prehľadávania  $h_p = 5$ , kde je v oboch tabuľkách zaznamenaný malý pokles hodnôt.

## V. ZÁVER

Článok bol zameraný na opis princípu a implementácie algoritmu trelisového vektorového kvantovania so zameraním sa rôzne zmeny parametrov treliisu. Opísané bolo vektorové kvantovanie s oneskoreným rozhodnutím využívajúce princíp trelisovo-kódovanej modulácie, ktorej základnou vlastnosťou je použitie štruktúrovanej kódovej knihy s rozšírenou množinou kvantizačných vektorov. Zamerali sme sa najmä na skúmanie vplyvu hĺbky prehľadávania treliisu, periódy vypúšťania kódových slov a počty stavov treliisu na výslednú hodnotu pomeru signálu k šumu. Z dosiahnutých výsledkom simulácie implementovaného algoritmu trelisového vektorového kvantovania sme zistili, že čo týka hĺbky prehľadávania treliisu, najvhodnejšia sa ukázala veľkosť 25. Pri počte stavov treliisu 4 a 8 boli dosiahnuté najlepšie výsledky pomery  $S/\dot{S}$  a perióda vypúšťania kódových slov nemala takmer žiaden vplyv na výsledné hodnoty pomeru signálu k šumu.

## LITERATÚRA

- [1] Mihalík, J.: Metódy a algoritmy optimalizácie vektorových kvantizátorov. LČSOV FEI TU Košice, 2013.
- [2] Mihalík, J. - Gladišová, I.: Weighted Pyramid Vector Quantizer. Electrical Engineering Journal, 46, No.2, 1995, p.46-50.
- [3] Gladišová, I.: Implementácia algoritmu mriežkového vektorového kvantizátora. In: Electrical Engineering and Informatics III: Proc. of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice, sept. 2012, s.315-319.
- [4] Ungerboeck, G.: Trellis – Coded Modulation with Redundant Signal Sets – Part II: State of the art. IEEE Commun. Mag., vol. 25, 1987, s. 12 – 21.
- [5] Gladišová, I.- Mihalík, J.: Trellis Coding for Vector Quantization. Proc. 5 th Int. Scient. Conf. „Digital Signal Processing and Multimedia Communications“, Košice, 2001, p. 31-33.
- [6] Bouzid, M. - Hocine, M. O.: Quantization Software: Application of Trellis Coded Scalar/Vector Quantization. IEEE Symposium on Computers and Communications, July 2009, p. 299-302.
- [7] Larsen, M. H. - Christense, M. G. - Jensen, S. H.: Variable Dimension Trellis-Coded Quantization of Sinusoidal Parameters. IEEE Signal Processing Letters, Vol. 15, 2008, pp.17-20.
- [8] Yeung, Ch. - Sanayei, S.: Enhanced Trellis Based Vector Quantization for Coordinated Beamforming. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. 2010, p. 3266-3269.



# Human Facial Emotion Recognition for Human-Computer Interaction

<sup>1</sup>Filip Hendrichovský, <sup>2</sup>Fouzia Adjailia, <sup>3</sup>Peter SINČÁK

<sup>1,2,3</sup>Department of Cybernetics and Artificial Intelligence, Faculty of Electrical Engineering and Informatics Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>filip.hendrichovsky@student.tuke.sk, <sup>2</sup>fouzia.adjailia@tuke.sk, <sup>3</sup>peter.sincak@tuke.sk

**Abstract** – The rapidly ageing population demands more workforce in social and health-care services. As robots and computers are becoming more advanced, they are also applied to assist people in needs. To perceive and respond to human emotions is the key to natural interaction between humans and robots. In this work, we propose a personalized approach to emotion recognition that aims to tune the model to recognize the expressive behaviours of a targeted person. We review the State of the Art of Human-Computer Interaction works related to social robotics and emotion recognition from facial expressions. We discuss the major problems and challenges in Facial Emotion Recognition of elderly and address them with the proposed personalized approach. To do so, we used a database of videos of elderly recorded in a Human-Robot Interaction. For validations, we created and compared six different Convolutional Neural Networks compare it to Microsoft Cognitive Services. The experimental results indicate that the proposed approach achieved the accuracy over 90%. Microsoft however only 66%.

**Keywords** – Personalised emotion recognition, facial expression, human-computer interaction, social robotics, elderly, deep learning, convolutional neural network

## I. INTRODUCTION

As the recent estimations predict an increase in the number of elderly people [1], the effort of using robots as their companions is becoming greater. With old age, major life challenges are increasingly likely to occur. Elderly people are at greater risk of social isolation compared to the general population, because of the increased likelihood of health problems, and all sorts of life events. Within ten years, in all care facilities, at least two kinds of robots will be circulating: robotic vacuum cleaners from corner to corner and therapy pet robots from lap to lap.

The survey [2] shows disagreement on whether robots should be utilized in health care and that attitudes towards care robots are more negative than positive. Yet much of the existing healthcare robots and literature about social robots for the elderly focus on devices that can provide assistance or support to people with physical or mental health problems. As robots, computers and computer-based applications become more and more sophisticated and increasingly involved in our everyday life, whether at a professional, a personal or a social level, it becomes ever more important that we are able to interact with them in a natural way, similar to the way we interact with other humans.

The crucial feature of human interaction that grants naturalism to the process is our ability to infer the emotions. This allows us to adjust our responses and behavioural patterns accordingly, thus ensuring convergence and optimisation of the interactive process.

## II. HUMAN-ROBOT INTERACTION IN SOCIAL ROBOTICS

Human robot interaction has been a topic of science fiction and also academic speculation long before robots have arrived. HRI is the science of studying peoples behaviour and attitudes towards robots in relation to the physical, technological and interactive features of the robots. In other words, it is a field dedicated to understanding, designing, and evaluating robotic systems for use by or with humans [3]. Interactions between a human and a robot may take several forms. These forms are influenced by the level of proximity that the human and the robot cooperate. Thus, the interaction can be separated into two categories:

- Remote interaction The human and the robot are not colocated and are separated spatially or even temporally like for example, the Mars Rovers are separated from the earth both in space and time [4].
- Proximate interaction The humans and the robots are colocated where service robots may be in the same room as humans. For example, using a robot to dress a human [5].

The main goal is to develop robots that facilitate these interactions efficiently and in an acceptable way to people. In order to achieve this, they have to meet the social and emotional needs of their individual users as well as respecting human values [6]. Social interactions include social, emotive, and cognitive aspects of interactions, which means that humans and robots interact as peers or companions.

With the advances of artificial intelligence, autonomous robots could eventually have more proactive and human-like behaviours. hri research aims to define models of humans' expectations regarding robot interaction to guide robot design and improve the software as well as hardware development. Research ranges from studies of how humans work with remote, teleoperated unmanned vehicles to peer-to-peer collaboration with anthropomorphic robots. While robots have often been described as possessing social qualities, they are not conscious beings. Some may argue but it is not possible to create one. Not just yet. Robots are purpose-built machines programmed to carry out a complex series of actions automatically what makes them ideal for anthropomorphization.

The field of social robotics lies between robotics, artificial intelligence, cognitive science, psychology, interaction design, biology and especially ethology [7]. This makes social robotics cross-disciplinary beyond engineering and computer science and draws more on the knowledge and resources from hri.

Social robotics is a fairly recent branch of robotics. Since the early 1990s researchers in artificial intelligence, robotics and automation have developed robots which explicitly engage on a social level. Social robots are now appearing in the real world, and we are seeing a growing market in the service industry for robots which interact with customers. Such robots are being applied in roles of elder care, hotel concierges and personal companions. With the cost-effectiveness of automation, this trend is likely to continue [8]. However, one of the difficulties of introducing robots to new domains is the creation of social interaction logic, which dictates how the robot behaves and interacts with people. It is tedious for an interaction designer to create all the behaviours for a robot by hand, and it is an incredibly challenging task to anticipate all the varieties of ways that humans may behave in a variety of social interaction. All these problems can be addressed through an imitation learning based approach for the development of robot interaction logic [9].

### III. EMOTION RECOGNITION: STATE OF THE ART

Robots are going to share environments with humans to actively collaborate with them in daily tasks. In order to do so, social robots are expected to interact and communicate with humans by embodying their social behaviours and rules. In this context, the capability to understand and recognize human emotions and intentions plays a significant role in the development of acceptable robotic solutions. Emotions are crucial elements in the life of humans. They facilitate the interactions between humans companions and the environment they live in. The interaction between human beings can be verbal and non-verbal, such as body, posture, gesture, gaze and can also introduce psychological and cultural aspects [27]. The task of emotion recognition often involves the analysis of human expressions in multimodal forms such as texts, audio, or video [28]. Different emotion types are detected through the integration of information from facial expressions, body movement, gestures, and speech [29]. There are also more sophisticated approaches to estimate human emotions such as using the facial temperature sequence [30], fingertip temperature [31], neuro physiological measurements taken by Electroen-cephalograph (EEG) [32] and using brain-computer interfaces [33, 34]. This work addresses the constraints and limitations of emotion recognition from a facial expression using static visual input. The proportions and expressions of the human face are important to estimate the emotion. Faces are important in the individuals social interactions beginning in the early stages of infancy [35]. Face perceptions are very complex as the recognition of facial expressions involves extensive and diverse areas in the brain. Despite these facts, the computers already started to tackle these problems in the 1960s where Woodrow Bledsoe, Helen Chan and Charles Bisson came up with an algorithm that could find some facial landmarks such as eye centres, nose, mouth, etc. [36]. Interest in automation of FER has also been increasing recently with the rapid development of artificial intelligent techniques, including in HCI [37], virtual reality [38], augmented reality [39], advanced driver assistant systems [40], and entertainment [41]. Although various sensors such as an electromyograph, electrocardiogram, electroencephalograph, and camera can be used for FER inputs. However, a camera is the most

promising type of sensor because it is cost-effective, available, affordable, used in a huge number of applications and does not need to be worn. Automated FER approaches attempt to classify faces in a given single image or sequence of images as one of the few, predefined, basic emotions. Traditional machine learning approaches have been also proposed as a solution. Support vector machines have been successful when classifying emotions from extracted facial characteristics in a stable and controlled environment [42]. In a similar approach, a random forest algorithm for classifying the group emotion has been proposed [43].

#### IV. EXPERIMENTS FOR EMOTION RECOGNITION

This section describes the process of data acquisition and evaluation for the proposed personalized approach for facial emotion recognition of elderly people. There are two main parts. The first part focuses on extracting faces and labelling them with the emotions. The second part consists of creating the personalized models for fer using cnn and comparing the performance with the saas solution from Microsoft [10].

##### A. Data acquisition

1) *Face extraction:* As discussed in the previous section, the conventional fer solutions are built for general purpose. However, the facial expressions of elderly people are less vivid and in some cases misleading. In this work the dataset created by Takac et al. [11] was applied. It contains videos of elderly persons in human-robot interaction during cognitive exercises. During these interactions, a local caregiver was also present. These interactions were recorded in various positions. For this purpose, only the frontal view was considered as shown on the Figure 1.

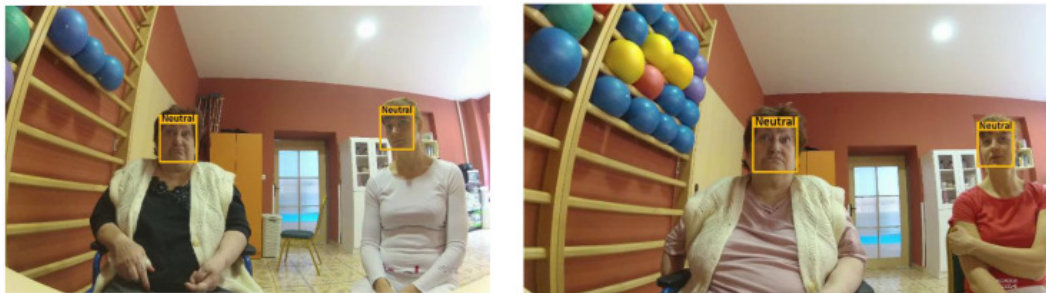


Fig. 1 View from the frontal camera of two consecutive cognitive exercise sessions (from left to right) where the elderly were sitting on the left and right respectively.

The length of interaction varies with each participant. Originally there were 10 participants plus the caregiver. A few months later they repeated the sessions in the same place with the same caregiver and 6 new participants, so there are 16 persons in total recorded, including the caregiver. Out of this 16 person, 12 are females including the caregiver and 4 males.

In order to create the dataset of just faces, they were cropped out from video frames taken every second. Every taken frame was sent to the Microsoft Face api for face detection. This api returns a list of rectangles demarcating all detected faces in the passed image. The rectangles are represented by  $x$  and  $y$  coordinates of the upper right corner of the rectangle alongside with its width and height. Faces then were cropped out with double the size of the face's rectangle as shown on the Figure 2. It was doubled in order to get more visual information about the face.

All extracted faces from each session were stored as individual images. As mentioned above, there were two persons in each session, the caregiver and an elderly. The images were separated by persons manually. Table 1 demonstrates the number of detected faces per person with an assigned identification letter. The difference between the number of detected faces is significant, because of the variable length of session, some participants did two sessions and some were looking at the caregiver more often than others. Considering the Table 1 we selected 80 images per person for the final dataset where all images will be annotated with emotions. The reason for this was to include images from all participants equally. The images were manually selected such they are not repeating, they are distinguishable and in good focus.

2) *Data annotation:* The proposed personalised emotion recognition approach requires images annotated with emotions. In order to get the most objective annotations, we designed the web application for this, which can be easily shared and accessible all around the globe. It was built using the HTML/CSS, JavaScript and Python Flask framework. This application allowed us to recruit many people easily and efficiently. Figure 4 shows the user interface of the application.

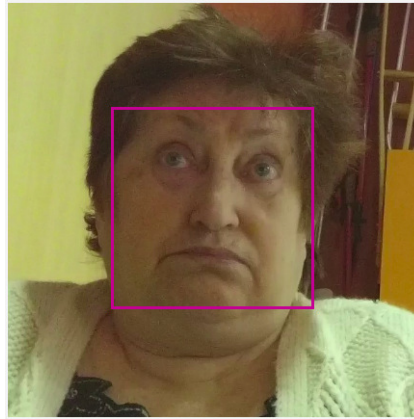


Fig. 2 Example of face image cropped from the video frame with the highlighted rectangle of face detected by Microsoft Face api.

| ID | Sex                | Number of detected faces |
|----|--------------------|--------------------------|
| A  | female             | 1547                     |
| B  | male               | 422                      |
| C  | female             | 264                      |
| D  | female             | 332                      |
| E  | female             | 418                      |
| F  | male               | 425                      |
| G  | female             | 299                      |
| H  | female             | 87                       |
| I  | female             | 417                      |
| J  | male               | 148                      |
| K  | female             | 1727                     |
| L  | female             | 477                      |
| M  | female             | 1502                     |
| N  | male               | 1101                     |
| O  | female             | 1450                     |
| X  | female (caregiver) | 4335                     |

Table 1  
 Number of detected faces by Microsoft Face API per person.

Users have a choice of 8 emotions and one extra option in case the facial expression does not correspond to any emotion listed. These 8 emotions are exactly the same as Microsoft uses in their Face api because we will compare the performance of our approach with their service. Images are presented to the user automatically after each annotation. To ensure that images are presented to users evenly, every image keeps track of the number of labels already assigned to it. At every request for the next image, the image is selected randomly from those images with a lower number of labels than the highest number across the dataset.

Users can use this application without limits. The task of assigning emotions to faces of elderly persons is not trivial and users may get bored after a short time. To motivate them and to keep their full attention, hence improving data, we translated the texts into multiple languages and dialects (see Figure 4 (a)) and also added some images of facial expressions from the KDEF [12], where all images contain clear expressions of 7 emotions (same as we use minus contempt), and AffectNet [13] which contains facial expressions collected from the internet. These two databases already have annotated images so we can better compare the results of the annotation process. In total, the final dataset contains 1377 images where:

- Takac et al. 1280 images, 16 persons, 80 images per person, 4 males and 12 females, elderly persons and the caregiver
- KDEF 70 images, 10 persons, 7 images per person, 5 males 5 females, clear facial expressions of 7 different emotions
- AffectNet 27 randomly selected images

### B. CNN description and implementation

The main idea behind the personalisation of fer is to create one model for each individual person. In this work we created and compared six different models shown on the Figure 5 inspired by work of Lu et al. [14]. They used simpler and smaller cnn . The performance they achieved



Fig. 3 Illustration of persons in the dataset. They are ordered from the left to right, top to bottom respectively to the Table 1.

with such models is very good due to the fact that fer is a very specific task compared to object recognition.

We created three different architectures of cnn, each with two different settings and implemented using Tensorflow's build-in Keras library [15]. The input is images normalised in the size of 124 by 124 pixels converted into the grey scale, marked as "image 124x124x1". The size is 124 pixels because it is the most occurring size of images in the dataset. All cls are same, two dimensional marked as "conv". For instance "conv 3x3x16, 1" represents the 2D cl with the size of the kernel of 3 by 3 pixels, 16 filters and the stride of 1 pixel.

Each cl has the activation function set to relu function and same padding. After each cl is performed batch normalisation which normalises the activations of the previous layer at each batch, i.e. applies a transformation that maintains the mean activation close to 0 and the activation standard deviation close to 1. The following is the Dropout layer that consists of randomly setting a fraction rate of input units to 0 at each update during training time, which helps prevent overfitting. All dropout layers have the rate set to 0.2. To reduce the size of spatial data, we used maximum pooling with the pool size 2x2 pixels and the padding is set to same. The last part consists of densely-connected neural network layers, where the layer noted as "dense" uses relu activation function and the layer noted as "softmax" uses the Softmax [16] activation function. The last layer is the classification layer where the notation "#c" represents the number of classes (emotions) of individuals.



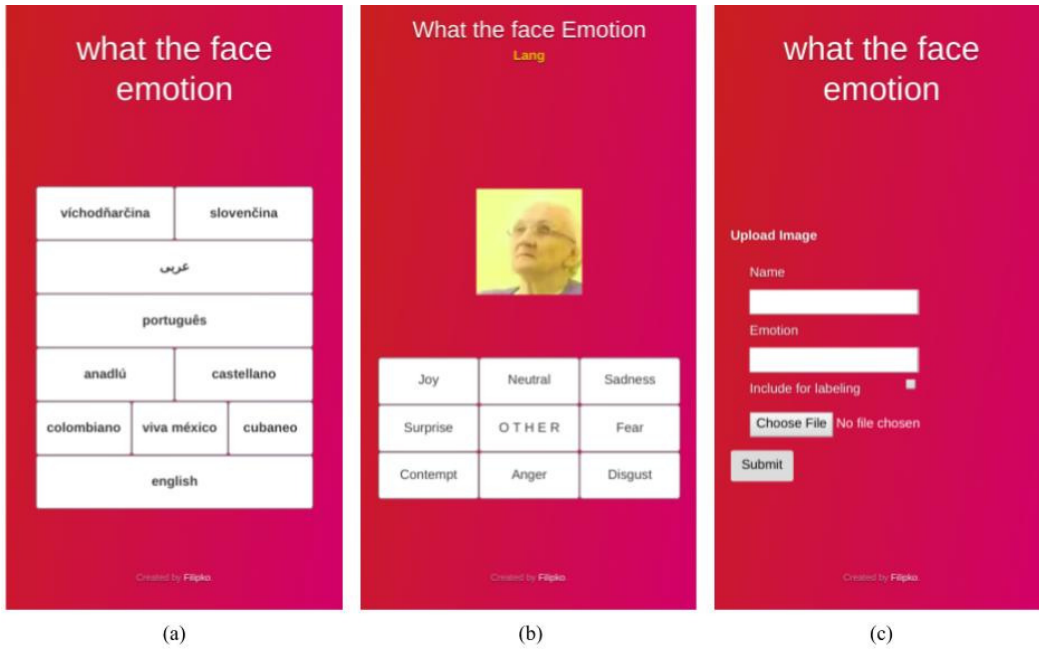


Fig. 4 What the Face Emotion application user interface. Figure (a) shows the index page, (b) shows the interface for annotation process and (c) shows the upload image form.

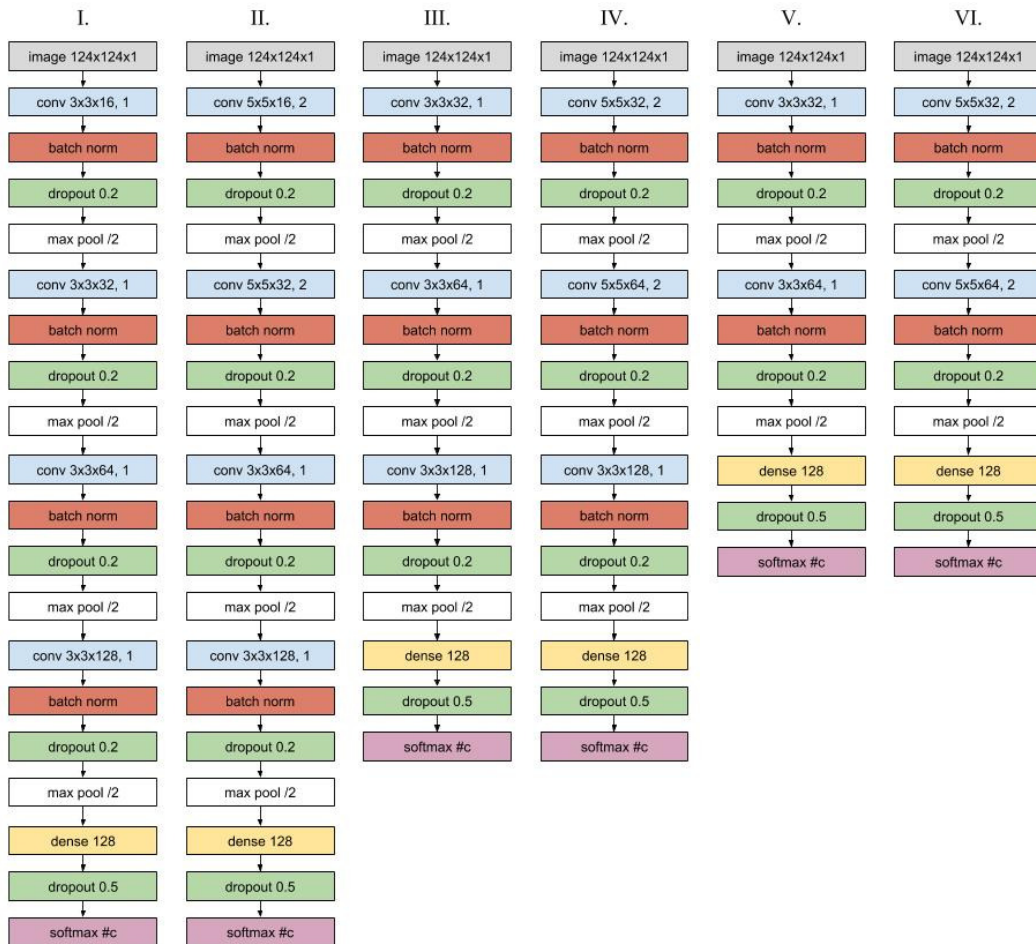


Fig. 5 Architectures of cnns used in experiments.

## V. RESULTS AND EVALUATION

### A. Results of data annotation

The application was accessible by the link <http://147.232.205.10/index.html> which was not very convenient to share on the social networks. We used the URL shortener Bitly [17] to make it simple with this link <http://bit.ly/2AZ1Dra>. During the two months of intensive sharing of the link, the application was accessed over 600 times from more than 30 countries around the globe. The most frequent referrer was Facebook.

We collected 31 labels for every single one of 1377 images in the dataset. As the first step, we wanted to get some statistical measure for assessing the reliability of agreement between the raters. For this purpose, we implemented the Fleiss' kappa [18]. However, this assumes a fixed number of raters which in our case is not true. Nevertheless, for the sake of statistical analysis, we assumed 31 raters. With this assumption, the kappa was 0.157. Based on the Fleiss et al. interpretation of the kappa values, 0.157 represents a poor agreement between raters over all images. To filter out images on which raters had poor agreement, we used the following equation from Fleiss' kappa algorithm

$$P_i = \frac{1}{n(n-1)} \left( \sum_{j=1}^k n_{ij}^2 - n \right)$$

where  $n$  represents the number of ratings per image,  $k$  the number of categories into which assignments are made, which in our case it was 8 emotions and one extra option, and  $N$  the total number of images. The subscript  $i$ , where  $i=1, \dots, N$ , represents the images, and the subscript  $j$ , where  $j=1, \dots, k$ , represents the categories. Therefore,  $n_{ij}$  is defined as the number of raters which assigned the  $i$ th image to the  $j$ th category and  $P_i$  as the agreement coefficient among the  $n$  raters for the  $i$ th image. The Figure 6 illustrates raters' agreement in relation to the number of images. The step of the agreement coefficient in the plot is 0.02.

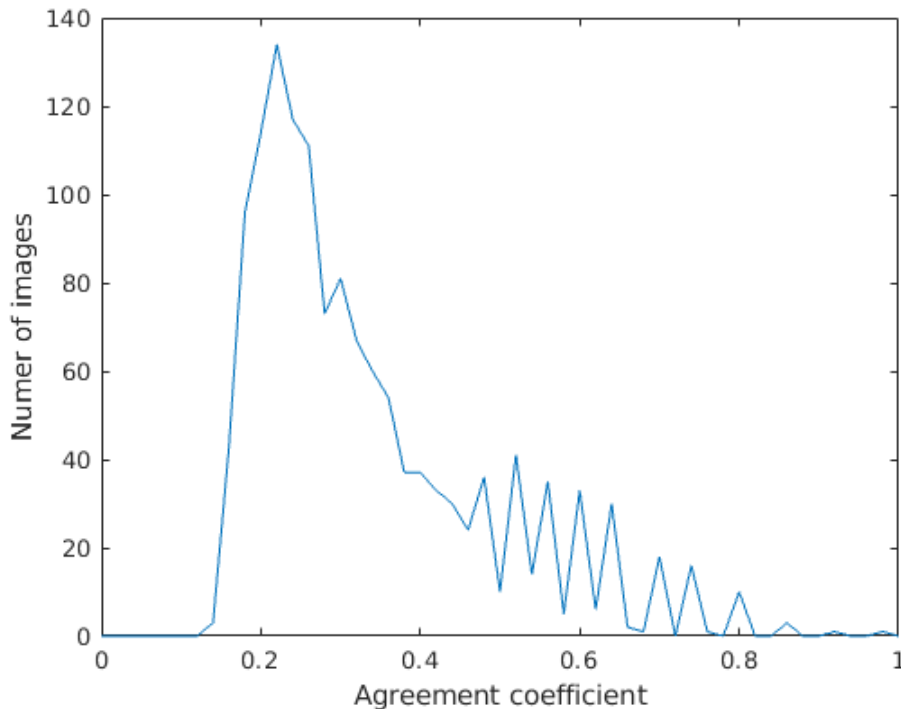


Fig. 6 Plot of the agreement coefficient calculated for the number of images.

Based on the result shown on the Figure 6 and the Fleiss et al. interpretation of the kappa values, we chose the threshold value of the agreement coefficient to be 0.2. From the 31 labels assigned to each image, we selected only one using the mode statistic operation. Afterwards, we selected only those images that have the agreement coefficient greater than the threshold and the label was one of the 8 emotions. There were 271 excluded images in total, where 256 were under the threshold, 4 of them were images from KDEF and 1 from AffectNet database, and 36 labelled as "other", where 5 of them were from the AffectNet database.



Some of these 271 images were both under the threshold and labelled as "other". Table 2 show the results analysed for each person. Images are separated into two columns, where the column Good represents the number of images that have passed the filtration process and the column Bad those that haven't. In similar fashion are images organised into emotions. The next step was to create the dataset for experiments to train and test the models. In order to have the quantity and the quality of data for the experiments, we selected persons with more than 50 Good images. The red colour highlights the cells that have less than 50 Good images so these persons are not included in experiments.

One can notice that not all emotions are present and they are not evenly distributed which is necessary for the training and testing data subsets. We decided to create 80 images of each emotion per person by randomly multiplying annotated images. To retain the diversity of images of emotion, we selected only those emotions that have more than 8 images. They are highlighted with green colour. The person J is excluded from the experiments because almost all images are from the same emotion.

| ID | Images |      | Emotion |          |         |      |     |         |         |          | Note |
|----|--------|------|---------|----------|---------|------|-----|---------|---------|----------|------|
|    | Bad    | Good | Anger   | Contempt | Disgust | Fear | Joy | Neutral | Sadness | Surprise |      |
| A  | 44     | 36   | 0       | 0        | 0       | 0    | 1   | 4       | 1       | 30       | no   |
| B  | 42     | 38   | 2       | 0        | 2       | 0    | 13  | 14      | 0       | 7        | no   |
| C  | 6      | 74   | 0       | 0        | 0       | 0    | 9   | 56      | 0       | 9        | yes  |
| D  | 22     | 58   | 0       | 0        | 0       | 11   | 7   | 26      | 13      | 1        | yes  |
| E  | 6      | 74   | 0       | 0        | 0       | 0    | 24  | 50      | 0       | 0        | yes  |
| F  | 1      | 79   | 0       | 0        | 0       | 0    | 55  | 14      | 0       | 10       | yes  |
| G  | 18     | 62   | 0       | 0        | 0       | 0    | 9   | 41      | 3       | 9        | yes  |
| H  | 2      | 78   | 0       | 0        | 0       | 0    | 56  | 20      | 0       | 2        | yes  |
| I  | 3      | 77   | 0       | 0        | 0       | 0    | 14  | 49      | 0       | 14       | yes  |
| J  | 7      | 73   | 0       | 0        | 0       | 0    | 68  | 2       | 0       | 3        | no   |
| K  | 24     | 56   | 0       | 0        | 0       | 1    | 17  | 5       | 31      | 2        | yes  |
| L  | 28     | 52   | 9       | 1        | 2       | 0    | 21  | 11      | 0       | 8        | yes  |
| M  | 8      | 72   | 0       | 0        | 0       | 0    | 38  | 32      | 0       | 2        | yes  |
| N  | 32     | 48   | 2       | 0        | 0       | 0    | 12  | 30      | 1       | 3        | no   |
| O  | 12     | 68   | 4       | 0        | 0       | 0    | 16  | 40      | 2       | 6        | yes  |
| X  | 7      | 73   | 1       | 0        | 0       | 0    | 28  | 38      | 4       | 2        | yes  |

Table 2

Results of annotated data filtration. Yellow - persons with suitable data for experiments. Green - enough images of the emotion. Red - not enough good images. Orange - not enough images for emotion.

### B. Results of personalised models

The dataset created for each selected person was split into training and testing subsets with the ratio 75-25 respectively. In both subsets was the same number of images for each emotion. For instance, the dataset of person C contained 240 images of 3 different emotions, 80 images per emotion, so the training subset contained randomly selected 180 images, 60 images per emotion.

Each cnn is shown on the Figure 5 was trained and tested for all selected persons 10 times. Each training process was performed with 30 epochs using the Adam [19] optimizer and the sparse categorical cross-entropy loss function [20]. Table 4 shows the results of experiments. The values in the table are the highest achieved accuracies on testing data from 10 consecutive training processes.

The last row shows the average accuracy of models across all persons. Time of training process was not recorded because these experiments were done on 4 different machines. Unexpected results have occurred while using Microsoft Face api for testing datasets. Table 3 shows how many faces from testing datasets were not detected. It is interesting because, as described in the previous section, the same api was used for extraction of faces from images. The difference was a few months between the face extraction and testing. We had to create a new subscription with a new account for because we used free subscription.

| ID           | C  | D  | E  | F  | G  | H  | I  | K  | L  | M  | O  | X  |
|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Faces count  | 60 | 60 | 40 | 60 | 60 | 40 | 60 | 40 | 60 | 40 | 40 | 40 |
| Not detected | 2  | 1  | 3  | 10 | 0  | 2  | 0  | 0  | 13 | 0  | 0  | 1  |

Table 3

Results of Microsoft Face API face detection on training datasets

## VI. CONCLUSION

In this work, we presented the latest trends in social robotics and reviewed the state-of-the-art methods for emotion recognition. To described problems and difficulties in emotion recognition from facial expressions of elderly people in hri, we proposed a personalised approach of fer using simple CNN. We used Takac et al. database of elderly people in hri from which we had to extract and annotate faces. For this purpose, we created a web application to manually annotate data by

| ID          | Models |       |       |       |       |       | Microsoft |
|-------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
|             | I.     | II.   | III.  | IV.   | V.    | VI.   |           |
| C           | 0.899  | 1.000 | 0.983 | 0.983 | 0.600 | 1.000 | 0.650     |
| D           | 0.966  | 1.000 | 0.933 | 0.966 | 0.649 | 0.966 | 0.333     |
| E           | 1.000  | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.800     |
| F           | 0.899  | 0.983 | 0.983 | 0.983 | 0.983 | 0.983 | 0.500     |
| G           | 0.883  | 0.949 | 0.949 | 0.949 | 0.933 | 0.949 | 0.500     |
| H           | 0.925  | 1.000 | 0.975 | 0.975 | 0.975 | 1.000 | 0.900     |
| I           | 0.949  | 0.966 | 0.966 | 0.949 | 0.966 | 0.966 | 0.600     |
| K           | 1.000  | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.850     |
| L           | 1.000  | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.483     |
| M           | 0.875  | 0.975 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.975 | 0.675     |
| O           | 0.975  | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.950 | 1.000 | 0.950     |
| X           | 0.899  | 1.000 | 0.949 | 0.949 | 0.925 | 0.925 | 0.675     |
| <b>Avg.</b> | 0.939  | 0.989 | 0.978 | 0.980 | 0.915 | 0.980 | 0.660     |

Table 4  
 Models performance and comparison on testing data

unbiased people from various countries. This has shown to be an uneasy task because in many cases raters had a high disagreement on individual images.

We applied Fleiss' kappa to analyse results of annotation and filter out ambiguous labels. The results of experiments yield solid evidence that models trained specifically for one person have better accuracy over generally trained models. These results vary little among the different cnns used in experiments, which means that even small and simple models perform considerably well. Slightly better results were achieved with cnns where first cls use kernel size of 5x5 pixels with the stride of 2 pixels opposed to the kernel size of 3x3 pixels with the stride of 1 pixel.

This work could be improved by creating more annotated data using our application. It has a user-friendly interface for adding images for annotation. In the future this could be done include other facial expressions of elderly people and also faces of non-elderly people as colourful images of faces or using the different structure of models or settings.

#### REFERENCES

- [1] "World population ageing 2017 - highlights," United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Tech. Rep., 2017.
- [2] W. S. R. Can, S. D. J. Seibt *et al.*, "Social robotics, elderly care, and human dignity: A recognition-theoretical approach," *What Social Robots Can and Should Do: Proceedings of Robophilosophy 2016/TRANSOR 2016*, vol. 290, p. 155, 2016.
- [3] M. A. Goodrich, A. C. Schultz *et al.*, "Human-robot interaction: a survey," *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, vol. 1, no. 3, pp. 203-275, 2008.
- [4] M. L. Gernhardt, E. Z. Crues, P. Bielski, D. Dexter, H. L. Litaker, S. P. Chappell, K. H. Beaton, and O. S. Bekdash, "Simulation based studies of low latency teleoperations for nasa exploration missions," 2017.
- [5] R. P. Joshi, N. Koganti, and T. Shibata, "Robotic cloth manipulation for clothing assistance task using dynamic movement primitives," in *Proceedings of the Advances in Robotics*. ACM, 2017, p. 14.
- [6] L. J. Wood, K. Dautenhahn, A. Rainer, B. Robins, H. Lehmann, and D. S. Syrdal, "Robot-mediated interviews-how effective is a humanoid robot as a tool for interviewing young children?" *PLoS one*, vol. 8, no. 3, p. e59448, 2013.
- [7] T. Kanda and H. Ishiguro, *Human-robot interaction in social robotics*. CRC Press, 2016.
- [8] M. Doering, D. F. Glas, and H. Ishiguro, "Modeling interaction structure for robot imitation learning of human social behavior," *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 2019.
- [9] P. Liu, D. F. Glas, T. Kanda, and H. Ishiguro, "Learning proactive behavior for interactive social robots," *Autonomous Robots*, pp. 1-19, 2018.
- [10] "Cognitive services — microsoft azure." [Online]. Available: <https://azure.microsoft.com/en-gb/services/cognitive-services/>
- [11] P. Takac, P. Sincak, G. Magyar, F. Cavallo, "Cloud based affective loop for emotional state assessment of elderly," 2017. [Online]. Available: <http://www.avidscience.com/wp-content/uploads/2017/10/cloud-based-affective-loop-for-emotional-state-assessment-of-elderly.pdf>
- [12] D. Lundqvist, A. Flykt, and A. Öhman, "The karolinska directed emotional faces (kdef)," *CD ROM from Department of Clinical Neuroscience, Psychology section, Karolinska Institutet*, vol. 91, p. 630, 1998.
- [13] A. Mollahosseini, B. Hasani, and M. H. Mahoor, "Affectnet: A database for facial expression, valence, and arousal computing in the wild," *IEEE Transactions on Affective Computing*, 2017.
- [14] G.-m. Lu, J.-l. He, J.-j. Yan, and H. Li, "Convolutional neural network for facial expression recognition," *Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications*, vol. 36, no. 1, pp. 16-22, 2016.
- [15] "Keras — tensorflow core — tensorflow." [Online]. Available: <https://www.tensorflow.org/guide/keras>
- [16] I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, *Deep learning*. MIT press, 2016.
- [17] "Url shortener, custom links and link analytics." [Online]. Available: <https://bitly.com/>
- [18] J. L. Fleiss, "Measuring nominal scale agreement among many raters." *Psychological bulletin*, vol. 76, no. 5, p. 378, 1971.
- [19] D. P. Kingma and J. Ba, "Adam: A method for stochastic optimization," *arXiv preprint arXiv:1412.6980*, 2014.
- [20] S. Mannor, D. Peleg, and R. Rubinfeld, "The cross entropy method for classification," in *Proceedings of the 22nd international conference on Machine learning*. ACM, 2005, pp. 561-568.

# Smart Sensor Input Environment for Virtual-Reality Systems

<sup>1</sup>Branislav SOBOTA, <sup>2</sup>Štefan KOREČKO, <sup>3</sup>Peter RUSIŇÁK

<sup>1,2,3</sup> Department of Computer and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>branislav.sobota@tuke.sk, <sup>2</sup>stefan.korecko@tuke.sk, <sup>3</sup>peter.rusinak@student.tuke.sk

**Abstract** — Smart environment combined with virtual reality technologies as a user interface can represent a new way in the utilization of information technologies for the benefit of disabled, sick or phobiotic people. The user is able to monitor and control a smart environment using application installed in his or her device, such as a computer, smartphone or various wearables. This paper describes a selected part of a special personal wearable sensor environment. A virtual environment for the smart environment is developed in LIRKIS laboratory of DCI FEEI Technical university of Košice as a bio-adaptive user interface. Special sensors can measure some personal parameters. Then they can affect the user interface properties or a control of the user surroundings. The development process may become time consuming as the electrical network, sensory network and other physical elements are not human-centered in many cases. Virtual reality technologies could decrease the costs of the development process.

**Keywords** — virtual reality, smart environment, sensor, user interface

## I. INTRODUCTION

Virtual reality, its technologies and contextual smart environment represent a relatively young technological area. The usage of these advanced methods and technologies in the HCI (Human Computer Interaction) [1] context is beneficial for better, easier and faster understanding of handicapped people life and education in those directions, which are characterized by concepts that are hard to comprehend. Special attention is given to link these technologies with a life of persons with multiple disabilities. It can be assumed that in this way they will get better, faster and easier understanding of the basic communication methods. They may also increase their ability to apply the methods correctly in practice and help their integration into the modern information society. In a relation to this, the field of smart environments is connected with Human-centered Computing (HCC). In spite of the fact that computers are hidden from the user's direct view, they stay in close interaction with the user through sensory networks, wearable devices and robot assistants. All these devices with appropriate application software could bring extended solutions in safety, security and privacy, health, therapy, wellness and ergonomics, resource saving, education and training and, of course, entertainment and convenience. They are developed with highly human-centered approach (HCA). A human being is not recognized as a direct user of information technologies but rather as someone whose abilities need to be supported and improved by these technologies. A suitable approach to the development of user interface in a smart environment should be a paradigm of localized information, including methods and approaches of human factor engineering and cognitive processing. It is important to notice that a user interface for a smart environment, based on human body movements and activity recognition, is strictly bound to contextual data describing conditions under which activities occur [2]. The content of the contextual data defines extended information like timestamp, status of physical environment in the form of measurable data and biochemical and physiological data of the user [2].

Although handicapped persons are not the primary target group of virtual-reality technologies and systems and smart environments, we can see the rising number of implementations of these technologies for their benefit. When applied correctly, they can help people with both physical and intellectual disabilities. More detailed description of selected results can be found in [3],[4],[5], [6],[7]. These technologies, of course, are usable for healthy people, too.

Base on [8], a virtual environment for a smart environment has been developed in LIRKIS laboratory of DCI FEEI Technical university of Košice. This work is only a supplement to the hardware for our virtual reality system and has no ambition for worldwide use. At this stage, it

will not be compared to another solution because many solutions are likely to be changed and adapted during development.

Smart environment in combination with virtual reality technologies as user interface can represent a new way in the use of information technologies in the lives of disabled people. From the user's perspective we identified two most common ways of interaction with a smart environment:

- Natural user interface (NUI) in the meaning of hands-free interaction based on human body movements, speech and other activities, captured using a sensory network.
- Monitoring and control through personal smart and wearable devices.

The user is able to monitor and control smart environment using application; installed on his or her device (computer, smartphone, wearables, etc.). The description of a selected part of this system, namely a special personal wearable sensor environment, is described in the rest of the paper.

## II. SYSTEM DESIGN

### A. Conceptual design

The first stage of this work was to find the best approach to the design of the whole concept. This was one of the many challenges, because it was very hard to choose the best components and technologies. First, we wanted to select components with appropriate bio-sensors (with respect to their parameters, price, size and power consumption). Second, we needed to choose the right processing unit to process and send data to computer.

The next stages were about designing software, user interface and communication between sensors and the main computer. One of the most important components was a concentrator, which is receiving data from sensor units and sending them to the main computer. It also provides a Wi-Fi network, which is very important for the whole concept to communicate and send or receive data.

One of the most challenging phases was also to find a way, how to make sensor modules wireless not only in a way of data sending, but also independent in terms of power supply. It is one of the most important things in this concept, because the user must have free space to move, so he can't be plugged into the physical data or power electricity network.

Fig. 1 shows a schematic diagram of the final version of the system design and corresponding workflow. The concept is based on three main parts that communicate with each other – the main computer, the concentrator and a set of smart sensor units.

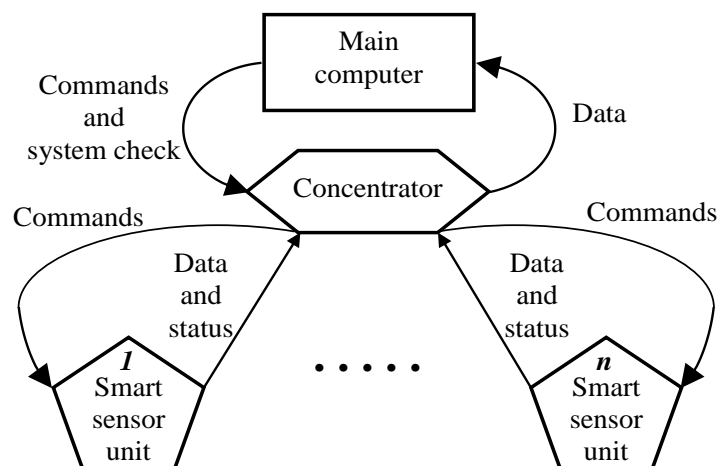


Fig. 1 Conceptual design schematic

### B. Sensors equipment selection

The goal of this first and probably the most important phase was to select the best sensors in the market. The selection criteria were favorable price, small size and compatibility with the designed system.

The temperature and humidity sensor HTU21D was selected as the first sensor module. This sensor is sending data in very small intervals, so it was logical that it was chosen from the wide range of available modules. In the next step, MPU9150 sensor was chosen. It provides

accelerometer, gyroscope and magnetometer data, which can be important in terms of virtual reality (VR) and VR systems: In VR systems, we can scan and determine the position of a person or any kind of object, if we know the coordinates from the corresponding position.

Thirdly, we were looking for some sensor, which is measuring hearth rate activity. We found solution in module AD8232. It is a kind of EKG sensor. It is more primitive than a professional EKG gadget, but it is providing necessary data fast enough. The package also includes a pair of electrodes, so this sensor was sufficient choice for this work.

MAX30100 was selected as fourth sensor. It's very similar to the EKG module, because it is also sensing hearth rate data, but it also measures the oxygen volume in the blood. This data are often measured from the hands of the user, especially on fingers or wrist. The sensor has an affordable price and its small size guarantees that the resulting system remains wearable.

The final sensor was a GSR sensor. This sensor measures galvanic skin resistance to find out whether a person is in good mental or physical health. It is also called "lie detector", because if the person is wearing it under stress, his fingers are starting to get wet and skin resistance is lower.

### C. GUI design

The user needs to interact with system, especially in VR. In this work, we decided to make a graphical user interface (GUI). Goal of this phase was to make an interface, which would be able to receive data from sensor modules, to give them commands and to manage the whole system practically from one point.

There were many requirements in terms of usability of this graphical user interface. It was needed to be available, easy to learn, easy to use and mostly - intuitive. We decided to use the technologies like JAVA, Vaadin, ElectronJS, JavaScript, CSS and HTML to make this interface user-friendly and good looking for future potential users. The examples of the GUI screens are in Fig. 2.

Our goal was to provide a usable interface design, which can help many users in wide range of treatments. This system is also very close to VR systems, because this concept is good starting point for all kinds of measurements and due to its dynamic structure and data processing. It's possible to connect many independent sensor modules to the system and it will still work and provide constant and accurate data.

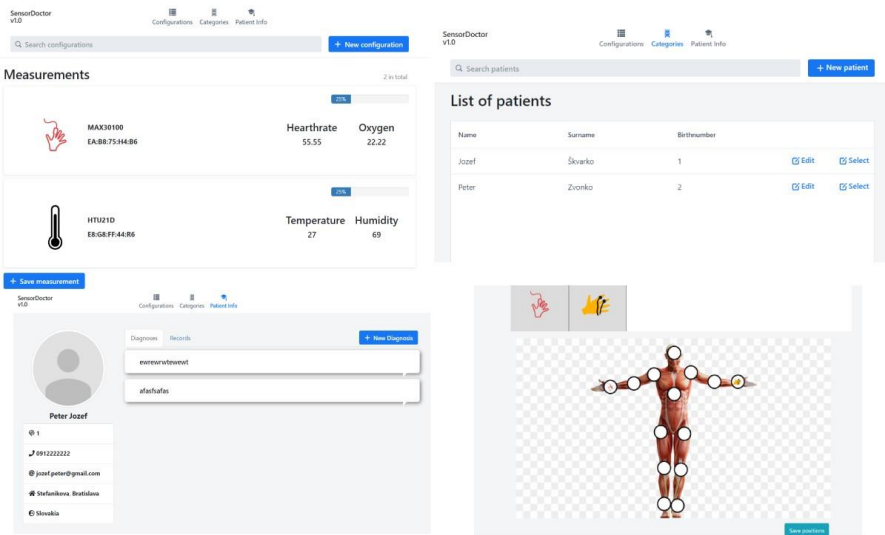


Fig. 2 Selected GUI screens

## III. SYSTEM IMPLEMENTATION

This system works as a network of sensor modules, which are independent in terms of electricity and wire. It's based on Wi-Fi network, which serves as a data carrier and brings data from sensor modules to main computer or high level computing system.

The Wi-Fi network is provided by concentrator unit based on technology of Raspberry Pi. We needed some kind of data gatherer, which can pull received data from sensor units and post them to main computer. This unit also generates Wi-Fi network, so it is very important element in this concept.

Each sensor module contains one smart unit called Wemos D1 Mini. It is an Arduino-like unit and it also contains a chip for Wi-Fi connection. Its size is small enough to be wearable and easy

to use. Wemos Battery shield is chosen for battery management.

Data are transferred via the Wi-Fi network in JSON array data format. It allows us to have our data secured, consistent, easy to parse and understandable. It is also easy to use and build in sensor units and easy for computer to get this data and generate all objects dynamically.

Receiving data to the main computer application is the last stage of data sending. In this case, it can interact with the system and manages sensor measurements. This application parses data and is capable of creating new users, new configurations, new record and existing records management in database. It is like a controller. The user can set minimum and maximum values and he can manage these values. Additionally, the user is able to get a position of each sensor module or critical values from each unit. It is very easy to use, because the user can see values of parameters (normal and errors in the measurement) and he can promptly react to unexpected states.

#### IV. PROTOTYPE TEST

Three sensors have been chosen for the prototype test. The selected sensors were: temperature and humidity sensor HTU21D, GSR sensor for galvanic skin resistance values and MAX30100 to test the heartbeat and percent of oxygen in human blood. GSR and MAX30100 were attached to user's body, specifically MAX30100 on left wrist and GSR on right hands fingers. HTU21D was situated on the table right in front of the user. The position and configuration values on the screens are shown in Fig 3. The sensor positions on the real user can be seen in Fig. 4.

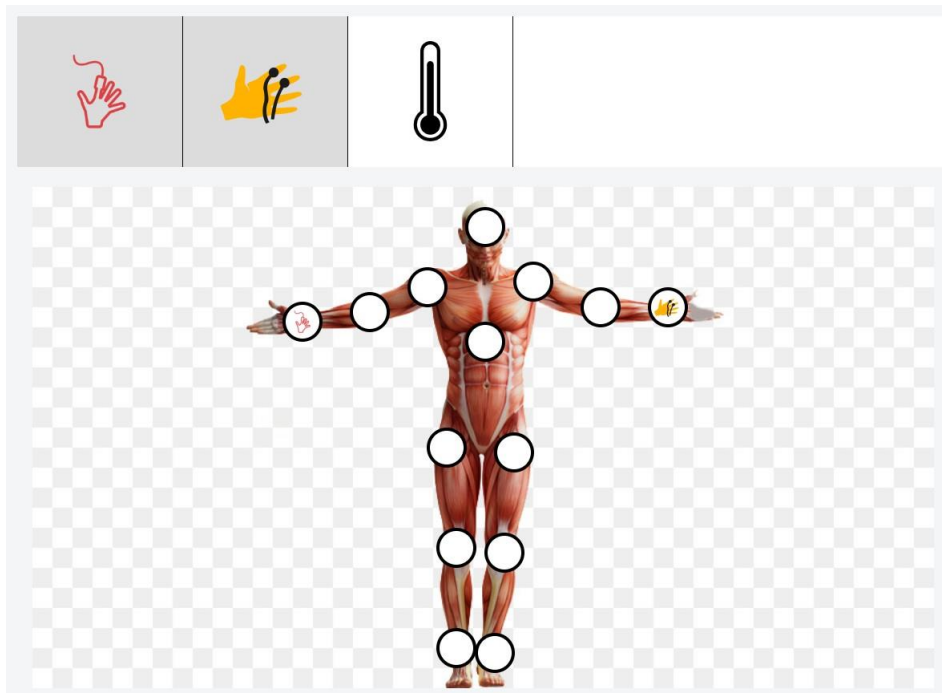


Fig. 3 Positions of sensors in the experiment



Fig. 4 Real position of sensors on a user

As is shown in Fig. 5, we have been able to get the values from all three sensors. The first sensor HTU21D shows that in the room is about 22 degrees Celsius and 49 percent of humidity. Second sensor, the GSR sensor, is showing users skin resistance value about 72. The last sensor is MAX30100. It displays that oxygen in user blood is in range of 94 percent and heart rate is about 256.

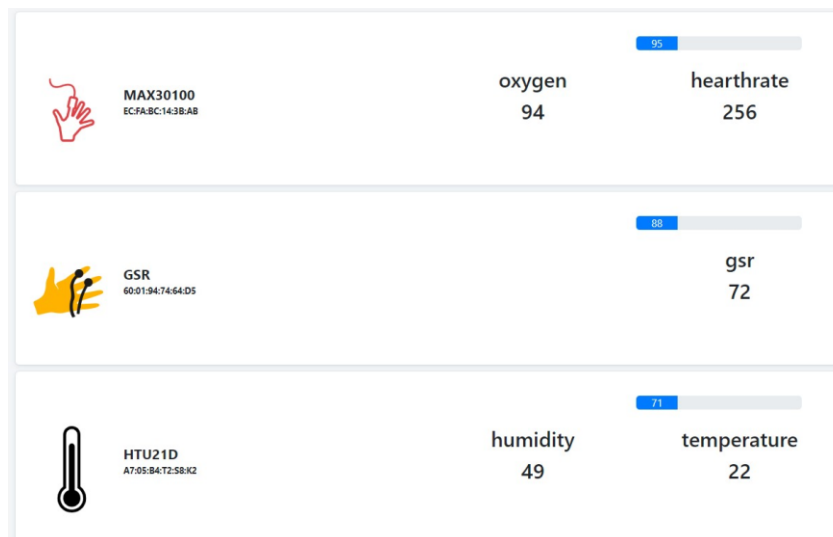


Fig. 5 Main measurement

The next possibility is a creation of a virtual sensor as a combination of real sensors. In this case, it is also possible to process only partial data from a real sensor (e.g. only temperature from HTU21D) in the form of a virtual sensor. The user can create a virtual sensor by using the logical function AND and OR with parameters from real sensors. He is also able to set the limit values of appropriate parameters of the virtual sensor.

## V. CONCLUSION

This work deals with new approach to the development of smart environments from a human-centered perspective with orientation also to disabled people. Its goal is to present some of our results in this area. We proposed a solution with the use of VR technologies. The whole system is in usability testing phase now. Modifying user interface or creating new VR scenes in combination with SmE (smart environment) technology, shows new possibilities for using such technology for the benefit also of the disabled, sick or phobic people. The future work will be dedicated to implementation of communication with additional sensors (EEG, EMG ...), acquisition of rich contextual data and better user's activity recognition.



#### ACKNOWLEDGMENT

This work has been supported by the KEGA grant No. 035TUKE-4/2019: „Virtual-reality technologies and handicapped people education“.

This paper is also the impact within the Project implementation: University Science Park TECHNICOM for Innovation Applications Supported by Knowledge Technology – II. phase, ITMS: 313011D232, supported by the Research & Development Operational Programme funded by the ERDF.

#### REFERENCES

- [1] G. Sinha, R. Shahi, and M. Shankar, “Human Computer Interaction”, in: proc. of Emerging Trends in Engineering and Technology (ICETET), 2010 3rd International Conference on. IEEE, 2010. pp. 1-4.
- [2] M. Pallot, B. Trousse, B. Senach, D. Scapin, “Living Lab Research Landscape: From User Centered Design and User Experience towards User Cocreation,” First European Summer School “Living Labs”, Paris, France, 2010
- [3] B. Sobota, Š. Korečko, O. Látka, Cs. Szabó and F. Hrozek, Solving of Tasks with Large Graphical Data in Parallel Computing Environment, Košice: UK TU, 2012, ISBN 978-80-553-0864-7 (in Slovak).
- [4] Cs. Szabó, Š. Korečko and B. Sobota, “Data Processing for Virtual Reality”, in: Advances in Robotics and Virtual Reality, Intelligent Systems Reference Library, vol. 26., Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2012, pp. 333-361.
- [5] B. Sobota, F. Hrozek, Š. Korečko and Cs. Szabó, “Virtual reality technologies as an interface of cognitive communication and information systems”, in: proc. of CogInfoCom 2011: 2nd International Conference on Cognitive Infocommunications, Budapest, Hungary, 7-9 July, 2011, pp. 1-5.
- [6] B. Sobota and Š. Korečko: Virtual Reality Technologies in Handicapped Persons Education; WSEAS - Advanced in Information Science and Applications, vol. 1, 2014, pp. 134-138. - ISBN 978-1-61804-236-1 - ISSN 1790-5109.
- [7] B. Sobota, Š. Korečko, P. Pastomický and L. Jacho: Education Process and Virtual Reality Technologies. In: ITRO - A journal for information technology, education development and teaching methods of technical and natural sciences., vol. 1, no. 1 (2016), p. 286-291. - ISBN 978-86-7672-285-3 .
- [8] B. Sobota, Š. Korečko, L. Jacho, P. Pastomický, M. Hudák, M. Sivý: Virtual-Reality Technologies and Smart Environments in the Process of Disabled People Education; In: ICETA 2017. - Danvers : IEEE, 2017 S. 427-432. - ISBN 978-1-5386-3294-9

# Programová implementácia pre ovládanie drona pomocou zariadení umožňujúcich virtuálnu realitu

<sup>1</sup>Peter Šulaj, <sup>2</sup>Lukáš Demčák, <sup>3</sup>Stanislav Marchevský,

<sup>4</sup>Renát Haluška

<sup>1,3,4</sup>Department of Electronics and Multimedia Communications, Faculty of Electrical Engineering and Informatics Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>2</sup>Department of Cybernetics and Artificial Intelligence, Faculty of Electrical Engineering and Informatics Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>peter.sulaj@tuke.sk, <sup>2</sup>lukas.decamk94@gmail.com,  
<sup>3</sup>stanislav.marchevsky@tuke.sk, <sup>4</sup>renat.haluska@tuke.sk

**Abstract** – Táto práca je zameraná na prácu so zariadeniami podporujúcimi virtuálnu realitu a lietajúcimi zariadeniami nazývanými drony. V spolupráci s virtuálnou realitou sa vytvára letecký systém, ktorý by mal zjednodušiť ľubovoľné aktivity. Široké spektrum využiteľnosti systému v rôznych oblastiach sa udáva ako hlavný význam tejto práce.

**Keywords** – Dron, Virtuálna realita, Riadenie drona

## I. ÚVOD

Využitím dnešných technológií a technického pokroku sa ľuďom otvárajú rôzne obzory v širokom spektre. Jedným z týchto je aj využitie kombinácia virtuálnej reality a lietajúcich zariadení ktorými môžu byť napríklad drony. Zamyslenie sa nad tým že tieto zariadenia môžu plne nahradiť ľudí ktorí by museli riskovať svoje životy v akýchkoľvek situáciách. Alebo príklad využitia simulovaného drona vo virtuálnej realite kde si budeme môcť prezrieť pamiatky, múzea a iné prírodné úkazy z našich domovov. Ako dobrý príklad je Notre Dome v Paríži nakoľko bol pred niekoľkými dňami zničený požiarom. Vytvorenie simulácie a implementovanie imaginárneho drona v tejto simulácii domu vo virtuálnej realite by nám vedela verne priblížiť túto pamiatku.

Riešeniu tejto problematiky sa nevyhneme bez technologických vymožeností ako sú :

- Drony alebo iné lietajúce zariadenie vrátane ovládača
- Dostatočný grafický výkon
- Ľubovoľné zariadenie pre virtuálnu realitu

Za pomoci týchto hardverových vymožeností budeme môcť realizovať tento projekt. Z pohľadu na softvérovú stránku tejto problematiky sa zameriame na využitie poskytovaného SDK od spoločnosti DJI a programovací jazyk Java popřípade JavaScript. Úlohou softvéru bude vyriešiť komunikáciu medzi jednotlivými zariadeniami.

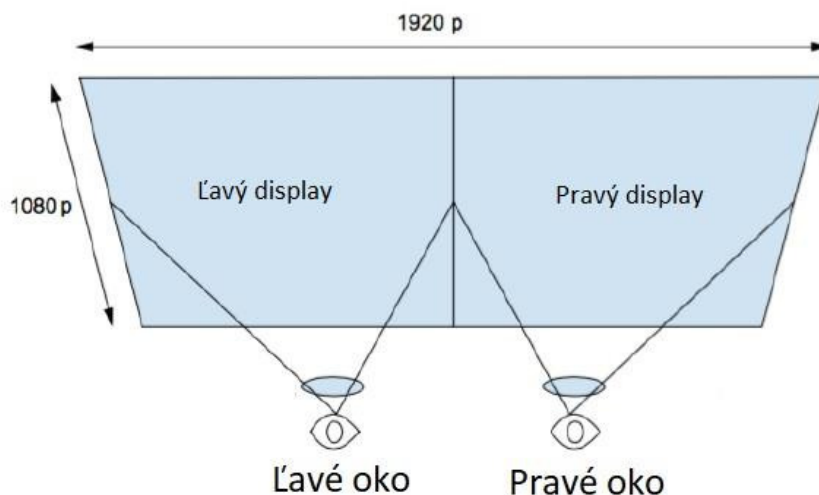
V tejto časti vás v Krátkosti oboznámim s myšlienkami a a hlavnými dôvodmi ktoré ma viedli k výberu tejto problematiky. Čo ma viedlo k tomu aby som sa zaujímal o virtuálnu realitu prepojenú s leteckými systémami. Aké rôzne využitia nám táto sústava umožní a k čomu by nám to bolo nápomocné.

## II. VR DOPLNKY

1) *Monitorovaný pohyb hlavy a 3D rendering:* Systém používaný pre zobrazovanie kombinuje dva pokroky od smartfónov a to: displeje s vysokým rozlíšením a presné a technologicky vyspelé snímače. Namiesto zobrazenia informácií na nejakej ploche, ako je obrazovka niekde v miestnosti pred užívateľom. Tieto displeje sú umiestnené na hlave, alebo sú súčasťou helmy a sú dostatočne rýchle nato, aby nás presvedčili, že to, čo užívateľ vidí a vníma predstavuje realitu. Pri zahájení práce na tejto Diplomovej práci bol OculusRift zďaleka najviac populárna platforma pre Virtuálnu realitu. OculusRift prešiel rôznymi predvýrobnými modelmi, označovanými ako vývojové sady (DK). DK1 sa stali dostupnými koncom roka 2012 a DK2 v polovici roku 2014. Prvou myšlienkou bolo poskytnúť vývojárom šancu na rozvoj. Časom sa mala vyvinúť ďalšia verzia Riftu, ale už pri tejto prvej verzii bolo zakúpené veľké množstvo zariadení, ktoré chceli

nadšenci v tomto obore použijú za cieľom získania náhľadu na túto technológiu. DK2 bol vybraný ako prvá podporovaná platforma VR v rámci vývoja DroVR.

Headset DK2 má malé nastavovacie kolieska na ľavej a pravej strane pre posunutie displeja bližšie k používateľovi alebo ďalej od neho. Tlačidlo napájania sa nachádza na hornom okraji headsetu, vedľa indikátora napájania. Keď je headset zapnutý a beží komunikácia tak, indikátor svieti na modro. Ak je headset zapnutý, ale neprijíma video, svieti na oranžovo. Má jeden displej s rozlíšením 1920 x 1080, inerciálnu meraciu jednotku, ktorá udáva lineárne a uhlové zrýchlenie, ako aj intenzitu magnetického poľa a smer, niekoľko infračervených svetiel. Tie sú monitorované priloženou sledovacou kamerou a môžu poskytnúť údaje o polohe užívateľa a taktiež aj zabudovaný tester latencie.



Obr. 1 Náhľad na zobrazenie

Rift sa snaží simulovať fyzickú prítomnosť používateľa v inom prostredí tým, že funguje ako špeciálne vstupné a výstupné zariadenie, špecializované na tento účel. Prvým krokom je dosiahnutie lokalizácie použitím niekoľkých senzorov na lokalizáciu aktuálnej polohy a orientácie užívateľa. Developer môže tieto informácie použiť na to, aby na ne odpovedal a to zmenami v aplikácii. To sa dosahuje poskytnutím oveľa širšieho zorného poľa, ako na bežný monitor. Monitor zobrazuje odlišný pohľad pre každé oko na vykreslenie 3D virtuálneho prostredia a blokovania, respektíve zamedzenie pozorovania skutočného prostredia okolo nás. Display znázorňujúci dva rozdielne obrazy, pre každé oko, iný pohľad na virtuálnu realitu. Vykonáva sa to zobrazením obrazu pred každým okom. Hlavný display je týmto rozdelený presne na polovicu, čo zabezpečuje reálny vnem pre obe oči.

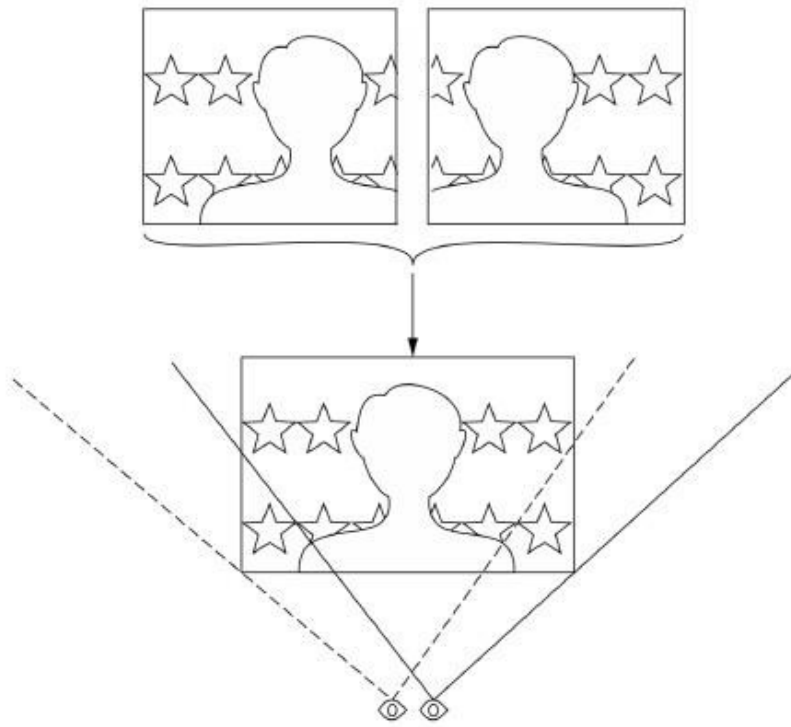
Každé oko má svoje vlastné zorné pole, vľavo sa zobrazuje viac informácií. Aby sa vytvoril zmysel pre hĺbku, mozog spojí obe obrazy do jedného pohľadu, ako je to znázornené na Obr. 2. Hoci informácie o aktuálnej hĺbke sú k dispozícii pre položky v oblasti **crossover**, celkový zmysel pre hĺbku končí ako súčet častí po spojení oboch obrazov mozgom a ich prekrytím. Mozog berie do úvahy aj iné podnety, ako napríklad osvetlenie, veľkosť známych objektov a pohyby malých predmetov vo vzťahu k iným.

Ako je znázornené na obr.3, šošovky v Rifte zavádzajú efekt rybieho oka a to deformáciou obrázka. To znamená, že obrázky zobrazené na obrazovke vo vnútri Riftu sa musia upravovať pred tým, ako sa objavia, čím sa proces tejto deformácie zvráti. Týmto spôsobom sa pri pohľade na skreslenie obrazu a na skreslenie objektívu zruší toto celkové skreslenie. Následne bude výsledný obraz ostrý a jasný.

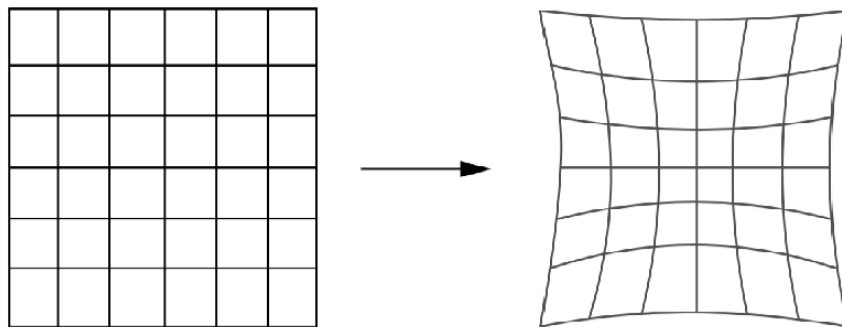
Mriežka čiar, jednoducho zobrazená a nami prezeraná cez Rift, sa javí skreslená smerom dovnútra šošovkami, ako by smerovali k stredu. Toto skreslenie nazývame skreslenie do podušky, ako je znázornené na obr.4. Na potlačenie efektu vankúšika je potrebné použiť softvér inverzný oval, skreslenie zdrojového obrazu pred jeho odoslaním do Riftu. Obraz sa teraz objaví tak, ako bol určený pre Rift.

### III. HLAVNÁ ČASŤ

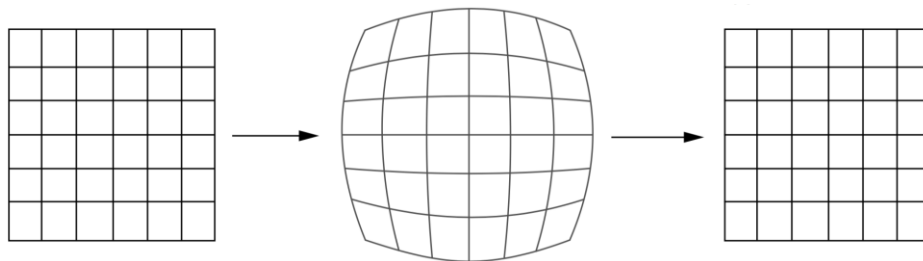
Miešanie virtuálnej reality s dronmi nie je úplne nový nápad. Parrot[3] už kombinoval tieto dve vymoženosti v jeho BepopDrone [1], ktorý umožňuje používateľom pripojiť supravu pre VR



Obr. 2 Vnímanie obrazov ľudským zrakom



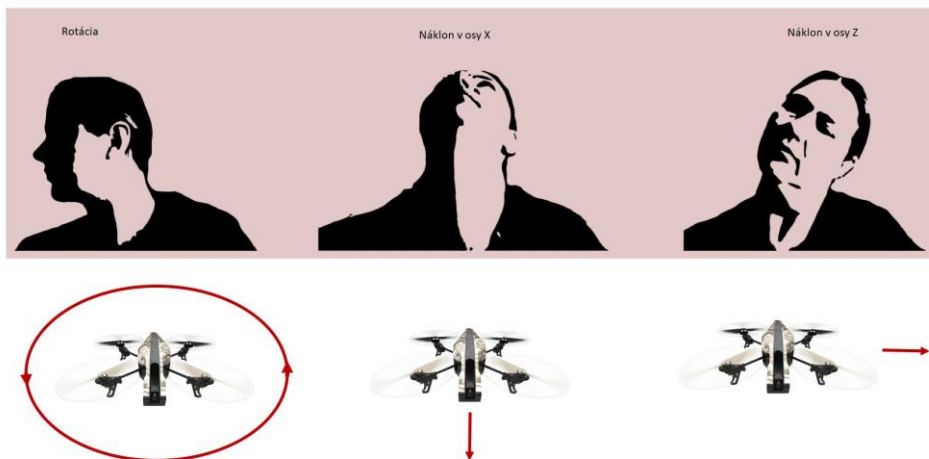
Obr. 3 Sústava ciar vnímaná cez Rift



Obr. 4 Hlavné skreslenie

podobnú ako Oculus Rift do regulátora, aby získali jedinečný pohľad na túto zmiešanú realitu. Hlavným faktorom tohto športu alebo aktivity je aj lietanie v reálnom čase Drone Racing [2], kde piloti pomocou kamier a suprav pre VR ovládajú svoje vlastné quadrokoptéry. Preteky sa konajú cez sklady a lesy. Avšak, pokiaľ ide o kontrolu s pohybom hlavy, drony môžu byť definované v dvoch kategóriách. Najprv sú to bezpilotné lietadlá s pevnou kamerou, ktoré nie je možné

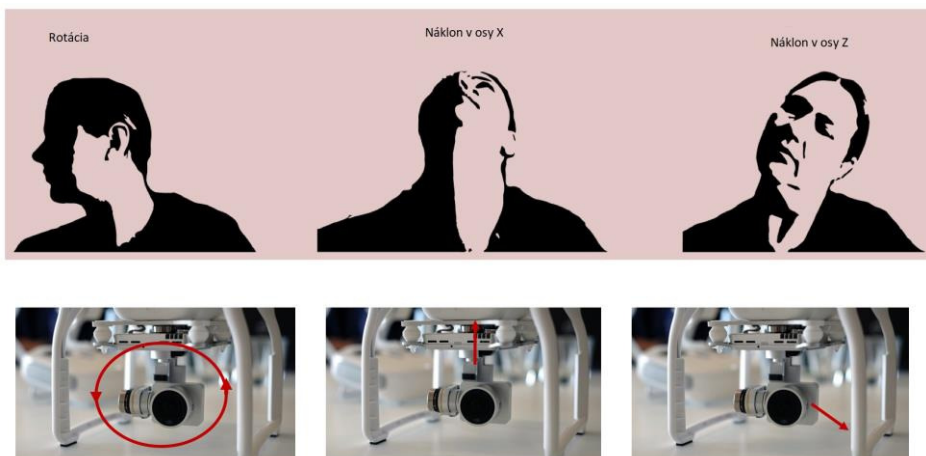
premiestňovať samostatne, zobrazené na Obr. 5



Obr. 5 Možnosti kontolovaných pohybov drona

Pre pohyb kamery je potrebné presunúť celý drone. Druhá kategória sú drony s kamerovým gimbálom, znázornené na Obr. 6. Môžu lietať stacionárne zatiaľ čo sa ich kamera umožňuje pohyb rôznymi smermi. To však nepredstavuje žiadny problém v súčasnej architektúre. Generický DroneAPI bude definovať metódu presunu, ale vývojár konkrétnej zložky Dron môže zvoliť spôsob implementácie tejto metódy. Môže to byť pohyb celého dronu, alebo len fotoaparátu umiestneného na gimbale. Pre AR.Drone, otáčaním hlavou doľava alebo doprava sa otočí dron okolo svojej osi Y. Naklonenie hlavy smerom k zemi alebo späť k oblohe zmení nadmorskú výšku drona. Nakláňaním hlavy smerom doľava alebo pravé rameno posunie drona doľava alebo doprava. Profesionálny Phantom 3 je vybavený kamerovým gimbálom. Fotoaparát sa však môže pohybovať iba hore a nadol, nakoľko pohyb kamery by mal za následok natáčanie podvozku drona. Z tohto dôvodu bol tento doplnok pre Phantom vyradený. Naklonenie kamery smerom dole a hore,

ktoré bolo zapríčinené sklopením hlavy smerom k zemi alebo zodvihnutím k oblohe. Zvyšné pohyby hlavy korešpondujú s akciami dronov definovanými pre AR.Drone 2. Toto použitie sa ukazuje v DroVR platforme. Generické komponenty definujú, ktoré metódy, ktoré musia jednotlivé komponenty implementovať. Ich realizácia nie je pre samotný rámec dôležitá.



Obr. 6 Možnosti kontolovaných pohybov drona s kamerou

#### IV. ZÁVER

Táto práca bola zameraná na prácu s dronmi a virtuálnou realitou. Počas riešenia tejto problematiky bolo potrebné získať vedomosti z rôznych smerov týkajúcich sa tejto témy. Z počiatku to bolo pochopenie funkcionality SDK pre DJI zariadenia. Následne použiť to v nadobudnutých zručnostiach v oblasti programovania android aplikácií.

Samotné programové prostriedky sú záležitosťou knižníc a DJI SDK s ktorým bolo potrebné pracovať. Samotný prenos videa z kamery upevnenej na drone je pokrytý aplikáciou kde po pripojení smartfónu je posielaný live stream z kamery priamo do zariadenia pripojeného pomocou usb kábla k ovládaču.

Samotná komunikácia medzi dronom a užívateľom je sprostredkovaná pomocou ovládača ktorý má integrované prvky pre komunikáciu s dronom a to v spomínanom DJI SDK.

Samotne riadenia drona pomocou senzorov spočíva vo výpočtovom procese kde sa pomocou akcelerometra zisťuje zrýchlenie v osiach X Y a Z a následne sú tieto hodnoty prevedené na pohybové signály.

Z môjho hľadiska je táto práca otvorená ďalšiemu pokračovaniu a rozširovaniu preto po ukončení a odovzdaní poputuje aplikácia "von" kde bude ako opensource prístupná verejnosti. Toto je oblasť kde technológie poskytujú nespočetne veľa možností na ich samotné využitie. Ako som už vyššie spomínal, a to využitie v pátracích akciách alebo na pozorovanie rôznych objektov.

#### V. POĎAKOVANIE

Tento článok vznikol za finančnej podpory Kultúrnej a edukačnej agentúry Ministerstva školstva Slovenskej republiky prostredníctvom grantu KEGA 062TUKE-4/2017

#### REFERENCES

- [1] Parrot Drones SAS, 2019 "*PARROT BEBOP 2 FPV* " <https://www.parrot.com/eu/drones/parrot-bebop-2-fpv#parrot-bebop-2-fpv-details>
- [2] BMSWEB, 2014 "*FPV Racing - Melbourne Multirotor Meet - March 2014* " <https://www.youtube.com/watch?v=yltJDfYBGiQ>
- [3] Parrot, 2010 "*Parrot AR.Drone. Yes it's real* " <http://blog.parrot.com/2010/01/05/parrot-ardrone-yes-its-real>

# Deep learning methods for image segmentation

*Maroš PLŠÍK, Peter BEDNÁR*

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

<sup>1</sup>peter.bednar@tuke.sk, <sup>2</sup>maros.plsik@student.tuke.sk

**Abstract** — The aim of this thesis is to implement a solution for semisupervised video object segmentation task using methods of deep neural networks. We implement our solution based on an already published approach and try to further improve its accuracy. To achieve better results we train the network using new extensive dataset and implement our version of online training. We test the base model as well as the improved one on a generally used testing dataset what allows us to compare our solution with other approaches as well as analyze the accuracy improvement we achieve by using our modifications. At the same time, we examine strengths and weaknesses of the architecture based on which our solution is built.

## I. INTRODUCTION

The aim of video object segmentation (VOS) is to separate target objects from the background on a pixel level. Given the ground-truth segmentation mask in the first frame, semisupervised alternative of the task learns the appearance of target objects from this annotation and separates these objects in the rest of the video, as can be seen in figure 1. With new technologies like virtual reality or autonomous vehicles slowly becoming a reality, the task of VOS is also quickly gaining in importance. There are two main challenges with the task of VOS. First of all, there are more target objects in most videos and these objects are often partially or completely hidden behind each other or they are interacting in complicated ways. In these situations, it is necessary to segment not only target objects from the background but from each other as well. The second challenge stems from the nature of videos - situations like camera motion, object deformation, occlusions between instances and cluttered background are common in almost every video and they degrade segmentation results of almost all models developed in the past few years. Although current state-of-the-art solutions for the VOS task achieve very high quality of segmentation in videos with one target object and without any of the previously listed edge cases, they still struggle with more difficult sequences. Also, the low speed of most solutions makes them hardly usable in real-life applications.

In this paper, we propose enhancements of one VOS algorithm that we picked based on its segmentation quality and its speed. First, we implement the algorithm and train the model in a way that it achieves same or very similar results as the original version. After implementing the base algorithm and achieving expected results, we train the model again using modified training process and new dataset - YouTube-VOS and evaluate the model's performance. To further improve the segmentation results, we implement online learning, we carry out several experiments to find the best parameters for online training and in the end we summarize results of our experiments and compare our enhanced models with other approaches. To validate the proposed enhancements, all of the experiments will be carried out on the DAVIS benchmark datasets [22] that have been used almost unanimously among other researchers since the deeplearning approaches to VOS task gained in popularity. We show that the model with proposed enhancements performs better than the original model, even though not in every case.

We also show the importance of the volume of training data and improvements that can be achieved using a new training dataset. Finally, in comparison with other approaches we come to conclusion that there is only a little space for improvement of the base model we chose and the architecture it is based on hits its limits in this implementation.



## II. RELATED WORK

Over the years, image segmentation task has been approached, and solved using several unique approaches, from simple techniques like thresholding [23] and clustering [8], through edge detection [17] to advanced methods based on deep neural networks. In our paper, we focus on analysis of the last group of algorithms used specifically for the task of semi-supervised VOS. Most of the solutions for this task are built upon the principles of one of two older methods – OSVOS [3] and MaskTrack [13]. Although there are only two base networks, almost all the derived approaches are unique in one way or another.



Figure 1: Example of semi-supervised VOS task.

## III. OSVOS – ONE SHOT VIDEO OBJECT SEGMENTATION

OSVOS approach is based on a network pre-trained for classification task, e.g. ResNet50 [10] or VGG16 converted into a fully convolutional network by removing the last fully connected layers and inserting a new loss instead in order to classify each pixel as foreground or background. This transformed network is then trained on a training dataset, e.g. DAVIS [22] or YouTube-VOS. The last and most distinctive step is fine-tuning the model on the first annotated frame of the current video to learn a better representation of the target object(s), basically overfitting the model for the current video. Another major result of the architecture is that the model processes each frame of the video independently, therefore the information about the past frames is not used.

Several algorithms based on OSVOS network, also called detection-based algorithms, have been proposed. These methods have been modified to use object tracking [6] or iterative online fine-tuning to utilize temporal information [18]. Some of the methods use Lucid Data Dreaming [12][15] to augment new data from the first annotated frame and fine-tune the model using the augmented data, while others use simpler data-generating techniques [5].

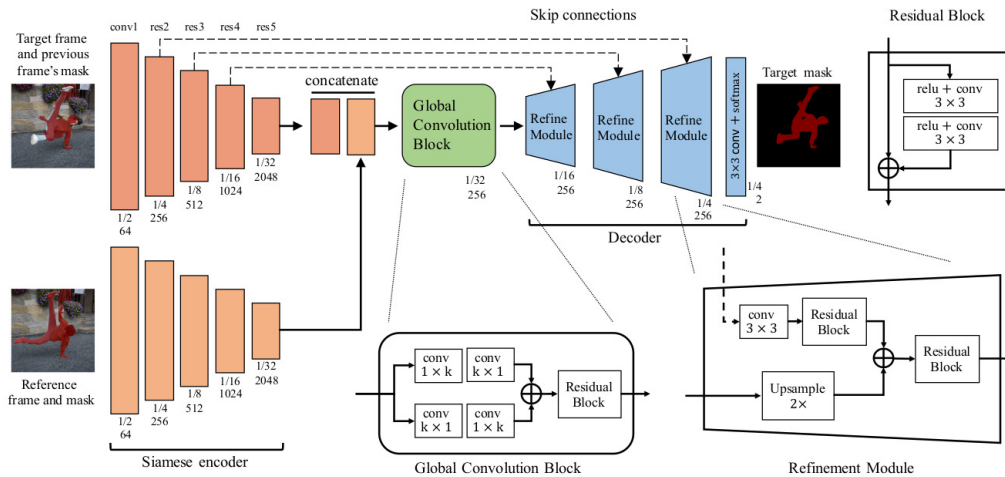


Figure 2: RGMP architecture. Source: [19]

## IV. MASKTRACK

Unlike OSVOS, MaskTrack network was created to utilize temporal information contained within the video. It is built on the network for semantic segmentation of images, DeepLab [4], trained on image saliency and semantic segmentation datasets. The network was modified to accept input with four channels, three of which are RGB channels of a frame image and the fourth one represents a predicted mask of the previous frame. The network is trained in two phases - offline and online. During offline training, the network learns to predict an accurate segmentation based on the current frame and a propagated segmentation of the previous frame. Additionally to the offline training, during the inference phase the network is trained online on the data augmented from the first annotated frame. The online training helps to boost the video segmentation quality by fine-tuning the network for segmenting a specific object instance.

There are already tens of unique approaches based on MaskTrack network, also called propagation-based methods, many of which achieve very good segmentation results in DAVIS challenge [22]. These methods use combinations of post-processing techniques like DenseCRF [12] or boundary snapping [14], modules like Faster-RCNN for semantic information [15] and data augmentation techniques, of which the most often used one is Lucid Data Dreaming [12]. Some of the newest and best performing methods have implemented re-identification modules [15] to better handle the occlusions and multiple instances in the videos. One of less common approaches has been used in network [19], which was built on an encoder-decoder architecture.

## V. APPROACH

### Base network

For our base network we have decided to use RGMP approach [19] because of its great ratio of segmentation quality to processing speed. The network, based on principles of MaskTrack architecture, achieves nearly state-of-the-art accuracy while keeping the time to process one frame with one object under 0.2 seconds. To achieve these results, the network was trained offline on combination of DAVIS and static image segmentation datasets and doesn't utilize any kind of online training.

This model is constructed as a Siamese encoder-decoder architecture which includes two encoders with shared weights. Encoders are based on ResNet50 and are modified to accept input with four channels - RGB image plus binary segmentation mask. Each half of the encoder processes separate data stream - reference stream and target stream. The reference stream takes as input first annotated frame including its segmentation mask while inputs to the target stream include current frame and the segmentation mask predicted for the previous frame.

Output of an encoder is concatenated and sent into a global convolution block that tries to match features between reference and target streams to localize the target object in the frame. One unique feature of this block is that it uses global convolution [20] that helps to overcome the locality of basic convolution operations.

The decoder takes the output of the global convolution block as well as information from target stream of the encoder using skip connections between corresponding encoder and decoder layers. Combination of this information improves the segmentation output of the decoder. Merging features in several different scales is handled by refinement module [21] that is a part of the decoder. At the end of the decoder there are two layers - final convolution layer and softmax layer to achieve output in form of a binary mask.

Training of the original RGMP network is divided into two stages. The first stage consists of pre-training on data augmented from the image datasets with instance objects masks - MSRA10K [7], VOC [9] and ECSSD [29]. Using image transformations on the images with object masks, authors of the RGMP network were able to generate pairs of reference frames+masks and target frames+previous masks. After the augmentation process, the generated data have been used to pre-train the model. After this stage, the model was fine-tuned using video segmentation data from the DAVIS dataset. By training on video sequences, the model learned to better utilize temporal information contained in a video sequence in both short-term as well as long-term changes in the objects' appearance. To simulate real-life process of video segmentation, the fine-tuning process is implemented in a way that instead of using ground-truth masks in the whole process, the segmentation mask predicted for one frame is used recurrently as part of target data stream for the next frame. The recurrent nature of this technique enables the usage of back propagation through time in the fine-tuning stage. During the inference phase, the first annotated frame and all the other frames without masks are sent as an input into the model. The first frame with its segmentation mask is used in reference stream and the rest of the frames in combination with masks continuously generated for those frames constitute the target stream. Scenario of multiple objects is handled by softmax-aggregation approach that combines multiple instance probabilities softly and constrains them to be positive and sum to 1.

### Proposed improvements

We propose improvements of the training process of the RGMP network based on the analysis of the network and its segmentation outputs.

To train a deep neural network for the task of VOS it is necessary to use as much training data and as diverse as possible. Even though the original model, RGMP<sub>origin</sub>, has been pre-trained using thousands of artificially generated pairs of images, only 60 true video sequences have been used during the fine-tuning. Our analysis of the network suggested that the small amount of high-quality training data was a limitation in the training process of RGMP<sub>origin</sub> model, therefore the first of our improvements was focused on training the model - RGMP<sub>new</sub> - from scratch using our own training process and better dataset.

While we were working on this paper and experimenting with models, new dataset for VOS was released - YouTube- VOS. This set contains about 40 times more annotated videos than the well-known DAVIS and is the first one of its kind in terms of volume. With almost 3500 new training videos available, we have decided to train the RGMPnew model from scratch to improve its performance while simplifying the training process.

The new training process we propose consists of only one stage where the model is trained for several days on combination of video sequences from DAVIS and YouTube-VOS datasets. The pre-training stage was removed from the training process completely, therefore there is no need to simulate data from static annotated images. The second modification of the training process is removing its recurrence feature. We have conducted several experiments related to recurrent training and while the results were in some cases better with recurrence, generally it caused slight degradation of segmentation results. The fact that this observation is in conflict with the original RGMP paper, where recurrence improved the results in a significant way, is most probably related to the hardware limitations of our cloud platform. Because of limited computing resources it was not possible to train the model with sequences long enough to contain enough temporal information and batches big enough to hold several different sequences.

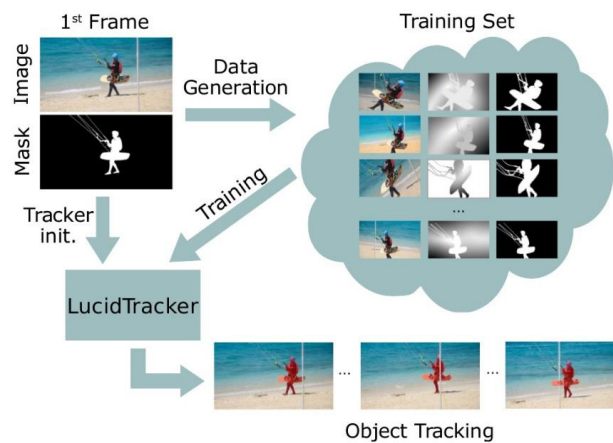


Figure 2: Lucid Data Dreaming. Source: [12]

Online training Fine-tuning model on video-data that are similar to the currently tested video significantly improves the quality of output segmentation. In other words, the more frames of the video we annotate manually and use for finetuning the model, the better results the model yields with that specific video. However, manual annotation is an unwanted process, that is why new forms of data generation have emerged in the last few years. The most widely used technique is called Lucid Data Dreaming and it is able to generate hundreds of unique pairs of images and segmentation masks based only on the first annotated frame in the video. The purpose of this technique is to generate data that represent simulation of the currently tested video. Finetuning model for each video individually is also called online training. Simple image transformations used before the existence of Lucid Data Dreaming to simulate video-data are unable to cover edge cases that are often part of video-data – changes in an illumination levels or an camera angle, obstacles in front of the target objects, rapid changes in object appearance and a few others. However, Lucid Data Dreaming method uses several advanced image transformations to address most of the common edge cases. The process of generating new data:

1. Illumination change. The image is modified by changes of saturation values - value S and value V in HSV color space using values from limited range.
2. Target object and background split. The target object is removed from the background using information from the segmentation mask. The background is filled with texture generated by algorithm PatchMatch [2]. The texture is generated with regard to the rest of the background image.
3. Object motion. Simulation of object motion is achieved by applying affine transformations on the image with foreground object. The target object is placed randomly into the first image from the pair and then placed into the second image within 10% of the size of the object. In both images random rotation of  $\pm 30^\circ$ , scale change within  $\pm 15\%$  and thin-plate splines deformations of  $\pm 10\%$  of the object size are applied.
4. Camera motion. Simulation of camera motion is achieved by applying affine transformations on the background image within the same ranges as for the foreground objects.
5. Merge of foreground and background. Images of foreground and background are merged using Poisson matting [26].

6. Simulating segmentation masks. Pixel-level segmentation masks are synthesized using the known image transformation parameters.

The Lucid Data Dreaming method has been implemented within our solution in a way that allows us to select image transformations to be used in the process of data augmentation. This way we are able to dynamically change the augmentation parameters and find the best performing combination for the testing data at hand. Utilization of optical flow, as proposed in the original Lucid Data Dreaming paper has not been implemented in our paper.

## VI. EXPERIMENTS

We evaluate our solution on val set of the DAVIS 2017 dataset. The video sequences in this dataset contain in most cases several target instances of various objects. The resolution of sequences is either 854 x 480 or 910 x 480 and the number of frames per sequence varies from 20 to 80. For quantitative evaluation we adopt two metrics - Jaccard index  $J$  to measure region similarity and boundary measure  $F$  to evaluate boundary similarity of the ground-truth masks and predicted masks. More information about these metrics are available in [22]. In the summary tables 1 and 2 we also provide information about the inference time for a single frame.

### RGMPnew

Our model RGMPnew is not different from the original model RGMPorigin in terms of a network architecture. The difference is only in training process and the training dataset. We have trained the model from scratch several times in various configurations until we achieved results comparable to the original paper. The interesting part of the results is that we achieved very similar values of  $J$ Mean and  $F$ Mean but significantly lower values of  $J$ Recall and  $F$ Recall (see table 2). This combination of results shows an important difference between our model RGMPnew and the original model RGMPorigin. Higher values of recall in case of RGMPorigin, whether it's  $J$ Recall or  $F$ Recall, mean that the model segments more frames with  $J$  and  $F$  values equal 50% or higher. On the other hand, same values of  $J$ Mean and  $F$ Mean tell us that both models' segmentation achieves similar levels of quality. The combination of these values and their differences can be explained like this: RGMPorigin is able to segment every frame with a little lower accuracy than RGMPnew, but its results are more consistent even with longer sequences as it does not suffer from error accumulation as much as RGMPnew. On the other hand, RGMPnew segmentation is generally of a little higher quality except for edge case situations with too many obstacles in the video, as shown in figure 4 on the bike-trees example. Losing too much information during segmentation process prevents the model to re-identify the object. Once the information about the object has been lost, the model will most probably not regain it until the end of the sequence.

### RGMPnew+Lucid

We have implemented online training phase of the training process to improve the segmentation performance of our model RGMPnew. To help with data augmentation for online training we have implemented the Lucid Data Dreaming method. During experimental phase, we have iterated through about 30 unique configurations of online training changing parameters like number of epochs, learning rate, number of generated frames and image transformations applied on the first annotated frame. In this process we have come to five conclusions:

1. Online training on augmented data has the ability to improve segmentation accuracy, especially segmentation of small details. On the other hand, if the model accumulates error during the segmentation process, online training does not improve its ability to regain lost information.
2. Benefit of each transformation is very individual and depend on every single video. In general, the choice of transformations in data augmentation does not impact general segmentation ability of the model.
3. Application of online training has to be strictly limited in terms of low number of training epochs and low learning rate. Higher rate or number of epochs helps with segmentation of the first few frames but significantly degrades performance in the rest of the video, when the appearance of the target object and background differs highly from the appearance in the beginning of the video.
4. Increasing the number of generated frames can improve the performance only if the learning rate or number of epochs are increased proportionally. However, this improvement tends to be negligible and is not worth the longer duration of online training.
5. Using only a few of available transformations can cause high similarity between generated images and therefore easier overfitting of the model during online training. Because of the low importance of selection of transformations during the data augmentation, we have decided to concentrate on comparison of model performance depending on other parameters of online training - number of epochs, learning rate and number of generated images. By experimenting

with several combinations of these parameters, we have come to a perfect setup for our model RGMPnew.

## VII. CONCLUSION

In this paper we present our modified implementation of semi-supervised VOS algorithm RGMP [19], in which we have focused on impact of three severe changes of the training process - modifying training process to use exclusively video data, using new larger dataset to train the model from scratch and lastly, implementing a process of online training including process of data augmentation. We have come to a conclusion that training networks from scratch on image or video data is very difficult in terms of necessary processing hardware and even though our model trained on new dataset showed improvements in some cases, the results of segmentation were generally very similar to the results of original model. On the other hand, online training effects seem to be more significant in a way of improving consistency of segmentation results across whole dataset. Our enhanced versions of the RGMP model still do not achieve the results comparable with current state-of-the-art [11], although it is worth reminding that the PReMVOS network works extremely slowly and it is not usable in real-life applications. While we achieved slight improvement over the original RGMP method, we have also realized that the architecture itself is a limiting factor because of its tendency to accumulate error in longer videos. The architecture is still worthy further experiments with more significant modifications, but we deduce from our experience that for more significant progress in VOS task solutions it is necessary to spend more time working on new, innovative methods.

## REFERENCES

- [1] Linchao Bao, Baoyuan Wu, and Wei Liu. "CNN in MRF: Video Object Segmentation via Inference in A CNN-Based Higher-Order Spatio-Temporal MRF". In: CoRR (2018). URL: <http://arxiv.org/abs/1803.09453>.
- [2] Connelly Barnes et al. "PatchMatch: A Randomized Correspondence Algorithm for Structural Image Editing". In: ACM Transactions on Graphics (Proc. SIGGRAPH)
- [3] Sergi Caelles et al. "One-Shot Video Object Segmentation". In: CoRR (2016). URL: <http://arxiv.org/abs/1611.05198>.
- [4] Liang-Chieh Chen et al. "DeepLab: Semantic Image Segmentation with Deep Convolutional Nets, Atrous Convolution, and Fully Connected CRFs". In: CoRR (2016). URL: <http://arxiv.org/abs/1606.00915>.
- [5] J. Cheng et al. "Learning to Segment Instances in Videos with Spatial Propagation Network". In: The 2017 DAVIS Challenge on Video Object Segmentation - CVPR Workshops (2017).
- [6] Jingchun Cheng et al. "Fast and Accurate Online Video Object Segmentation via Tracking Parts". In: CoRR (2018). URL: <http://arxiv.org/abs/1806.02323>.
- [7] M. Cheng et al. "Global Contrast Based Salient Region Detection". In: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (2015).
- [8] G. B. Coleman and H. C. Andrews. "Image segmentation by clustering". In: Proceedings of the IEEE (1979).
- [9] Mark Everingham et al. "The Pascal Visual Object Classes (VOC) Challenge". In: International Journal of Computer Vision (2010).
- [10] Kaiming He et al. "Deep Residual Learning for Image Recognition". In: CoRR (2015). URL: <http://arxiv.org/abs/1512.03385>.
- [11] B. Leibe J. Luiten P. Voigtlaender. "PReMVOS: Proposal-generation, Refinement and Merging for the DAVIS Challenge on Video Object Segmentation 2018". In: The 2018 DAVIS Challenge on Video Object Segmentation - CVPR Workshops (2018).
- [12] A. Khoreva et al. "Lucid Data Dreaming for Video Object Segmentation". In: The 2018 DAVIS Challenge on Video Object Segmentation - CVPR Workshops (2018).
- [13] Anna Khoreva et al. "Learning Video Object Segmentation from Static Images". In: CoRR (2016). URL: <http://arxiv.org/abs/1612.02646>.
- [14] T.-N. Le et al. "Instance Re-Identification Flow for Video Object Segmentation". In: The 2017 DAVIS Challenge on Video Object Segmentation - CVPR Workshops (2017).
- [15] X. Li et al. "Video Object Segmentation with Re-identification". In: The 2017 DAVIS Challenge on Video Object Segmentation - CVPR Workshops (2017).
- [16] K.-K. Maninis et al. "Video Object Segmentation Without Temporal Information". In: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (TPAMI) (2018).
- [17] R. Muthukrishnan. "Edge Detection Techniques For Image Segmentation". In: International journal of computer science and information technology (2011).
- [18] A. Newswanger and C. Xu. "One-Shot Video Object Segmentation with Iterative Online Fine-Tuning". In: The 2017 DAVIS Challenge on Video Object Segmentation - CVPR Workshops (2017).
- [19] Seoung Wug Oh et al. "Fast Video Object Segmentation by Reference-Guided Mask Propagation". In: The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2018.
- [20] Chao Peng et al. "Large Kernel Matters - Improve Semantic Segmentation by Global Convolutional Network". In: CoRR (2017). URL: <http://arxiv.org/abs/1703.02719>.
- [21] Pedro H. O. Pinheiro et al. "Learning to Refine Object Segments". In: CoRR (2016). URL: <http://arxiv.org/abs/1603.08695>.
- [22] Jordi Pont-Tuset et al. "The 2017 DAVIS Challenge on Video Object Segmentation". In: arXiv:1704.00675 (2017). URL: <https://arxiv.org/abs/1704.00675>.
- [23] N. Senthilkumaran and S. Vaithegi. "Image Segmentation By Using Thresholding Techniques For Medical Images". In: Computer Science and Engineering: An International Journal (2016).

# Classification of EUSO-SPB data using convolutional neural networks (CNNs)

<sup>1,a</sup>Peter SZAKÁCS, <sup>1,b</sup>Michal VRÁBEL, <sup>1,c</sup>Ján GENČI

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

<sup>a</sup>peter.szakacs@student.tuke.sk, <sup>b</sup>michal.vrabel@tuke.sk, <sup>c</sup>jan.genci@tuke.sk

**Abstract** – This work evaluates the use of convolutional neural networks (CNNs) as a tool for classification of data recorded during the EUSO-SPB science mission. The purpose is to identify entries, which potentially contain tracks of extensive air showers (EAS). The classification scheme uses two classes: noise and shower, the latter also referred to as a positive case. We have trained several models using datasets of simulated data generated using two different methods, and evaluated relevant classification metrics for them. Afterwards, we have used models exhibiting a sufficiently high classification accuracy to evaluate mission data. We have then selected those entries flagged by all selected models to contain an EAS track, and analyzed their commonalities.

**Keywords** – EUSO-SPB, extensive air shower (EAS), convolutional neural network (CNN), classification

## I. INTRODUCTION

EUSO-SPB [1] was a scientific mission launched on 5/24/2017 from NZ. Its main goal was the first observation of extensive air showers (EAS) caused by particles of ultra-high energy cosmic rays (UHECR), from a near-space altitude of 30 km above sea level. The mission also represents an intermediate step towards the development and launch of a high-resolution EAS detector in orbit [2]. The instrument consisted of an Earth-facing ultra-violet (UV) detector for imaging the fluorescence tracks of EAS, suspended from a super-pressure balloon (SPB). The mission ended prematurely after only 12 days of flight time.

The detector consisted of an imaging focal surface made of  $8 \times 8$  px multi-anode photomultiplier tubes (MAPMTs) with single-photon counting ability behind a set of Fresnel lenses for focusing light, giving the instrument an effective  $\pm 6^\circ$  field of view (FoV). The MAPMTs were arranged in a square array of size  $48 \times 48$  px, referred to as a Photo-Detector Module (PDM). Every  $2.5 \mu s$ , also referred to as a Gate time unit or GTU, a readout of the focal surface was performed by the on-board electronics. The output is a single data frame, describing the intensity of the recorded UV signal during the preceding GTU in number of photoelectron (PE) counts per each pixel of the focal surface. Each pixel is an 8-bit unsigned integer value.

The high temporal resolution of the detector creates a data rate from the entire focal surface on the order of approx. 7.4 Gbps. To deal with this, the detector stored these frames in a temporary circular buffer and persisted them to secondary storage only if potential indicators of the presence of EAS were detected via the on-board self-triggering mechanism [3], [4]. The persisted data consists of a sequence of 128 frames, henceforth referred to as a *packet*, capturing a time interval of  $320 \mu s$ . Around 40 hours worth of flight data were recorded during the mission, of which around 30 hours or 60 GB were downloaded before mission termination. Due to the MAPMTs' sensitivity to very low levels of UV radiation, observations were only performed on moonless nights in clear sky.

The total number of observable EAS during the mission in its actual duration has been estimated by Fenu et al. [5] to be around 0.8 to 1.5. The sheer amount of recorded data makes manual tagging a lengthy process, thus the need for some level of automated processing. One potential method, which has been investigated in several other physics projects [6], [7], is the use of machine learning. Every packet recorded during the mission can be thought of as a sequence of monochromatic video frames. This makes convolutional neural networks (CNNs) a potentially viable candidate solution for classifying the data, thus reducing the volume of data to be evaluated by other methods.



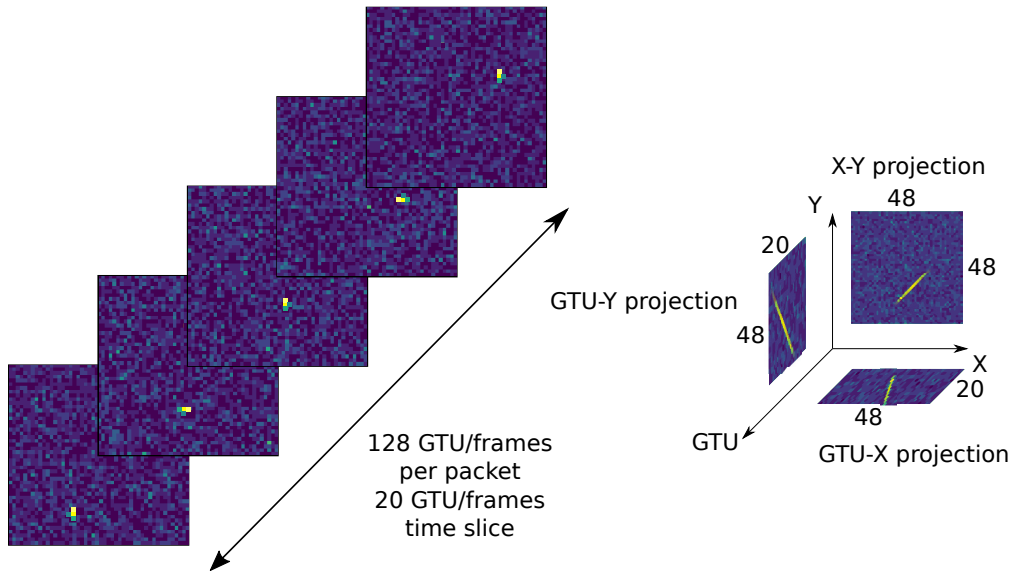


Fig. 1 Projections derived from a time-slice of 20 packet frames.

## II. OUR SOLUTION

The task for which we have trained our models is selecting those samples of mission data potentially containing an EAS track. As such, the samples in all datasets containing a simulated EAS track are referred to as positive cases, while all other samples are negative cases. For both classes, a correct classification into either class is tagged as true, while a misclassification is labeled false. The following text use this scheme for describing datasets and evaluation results.

CNNs require large datasets on which they are trained to recognize the desired patterns relevant for their task. In this case, there were no similar data from any previous mission and in large enough quantity to allow the training of models on it. As a result, we have used simulated data to train the models. For training, 2 types of simulated data were used:

- *Simulated* (or *simu*) data, created as part of earlier efforts on feature selection [8].
- *Synthetic* (or *synth*) data, created using our own method.

Our method for generating synth data was initially developed only as a temporary solution, as the method for generating simu data was determined to have implementation errors, described in the referenced work. However, a model trained only on the synth type of data was able to reject over 90% of all recorded flight data as negatives. This was consistent with the assumption that most of the mission data do in fact contain only background noise. As a result, we have kept and further refined this method of generating data, not least because it was significantly less computationally demanding than creating datasets of simu data.

### A. Input data format

A packet is in essence a sequence of video frames, capturing the evolution of an EAS as a localized bright spot moving in time across the focal surface of the detector. To make use of existing CNN architectures for image classification, a packet is assumed to be a 3D matrix of integer values. Then, the actual data fed as inputs are projections of maximum values along one of the 3 axes of this matrix. An illustration of how projections are derived is given in Fig. 1.

In projections, an EAS track appears as a straight line with increased brightness near the center and decreased brightness at the ends. This assumes that the entire extent of the track could be captured within the detectors FoV, as opposed to tracks extending beyond it or occurring close to the corners of it. A special case are EAS caused by particles impacting the atmosphere head-on, as opposed to under an angle. These appear as a single bright spot in the X-Y projection and a straight line in the other projection types.

The figure also illustrates that we did not create projections from the entire packet but only from a consecutive subrange of frames (a *time-slice*). This is because the triggering system, as described by Adellaoui et al. [3], ensures that the first frame potentially containing the signal of an EAS track always has approximately the same position.

### B. Synthetic (*synth*) data

After multiple iterations, the generator of synth data works as follows:



Table 1

Parameter value ranges for dataset of synthetic data used for training. All parameters are dimensionless quantities and except for `bg_lambda` can only have integer values.

| Parameter                 | Min | Max | Parameter meaning   |
|---------------------------|-----|-----|---|
| <code>bg_lambda</code>    | 0,6 | 2,6 | $\lambda$ of the Poisson distribution of background pixel values. |
| <code>num_bad_ECs</code>  | 0   | 4   | Number of malfunctioned EC units.                                 |
| <code>start_gtu</code>    | 0   | 7   | Index of first packet frame containing track pixels.              |
| <code>start_y</code>      | 2   | 45  | Index of first track pixel along the height of a packet frame.    |
| <code>start_x</code>      | 2   | 45  | Index of first track pixel along the width of a packet frame.     |
| <code>shower_max</code>   | 3   | 13  | Peak value of an EAS track pixel on a zero-pixel background.      |
| <code>duration</code>     | 7   | 40  | Duration of the track in number of frames/GTUs.                   |
| <code>track_length</code> | 3   | 40  | Length of the track viewed from the X-Y projection                |

- 1) The UV background of a packet is imitated using a Poisson distribution of pixel values. The synthetic nature of the UV background is the namesake for this type of data.
- 2) The EAS track is approximated as a straight line in 3D space between a randomly generated start coordinate and an endpoint calculated using the parameters `track_length` and `duration` (refer to table 1 for the meaning of parameters). Coordinates between these endpoints are determined using Bresenham's algorithm [9].
- 3) Pixel values (dimensionless quantities) along the track are simulated using equation 1, created by us:

$$v_i = \text{round}(\text{shower\_max} \cdot (-\frac{2 \cdot i}{\text{len}} - 1)^2 + 1), \forall i > 0 \wedge i < \text{len} \quad (1)$$

where:

- $v_i$  is the pixel value at the  $i$ -th line coordinate.
  - `shower_max` is the peak pixel value along the track on a zero-pixel background.
  - `len` is the track length in 3D space (total number of track pixels in all frames).
- 4) A slight anti-aliasing effect is applied to the track values using a Gaussian filter.
  - 5) The final anti-aliased track is put into the packet using per-pixel addition.

Additionally, the generator is able to simulate malfunctions of component elementary cell (EC) modules on the detector surface, which represent a group of  $2 \times 2$  MAPMTs. This is currently limited only to zeroing-out the relevant pixels. The generator creates a balanced set of data with equal numbers of positive and negative samples. If simulation of malfunctioned EC units is turned on, these are simulated for half of the items in either class. Our training dataset for the final evaluation consisted of 400 000 total samples, with the ranges of parameter values depicted in table 1. Note that parameters used for generating EAS tracks do not apply to negatives.

### C. Simulated (simu) data

Packets of simu data were created using methods of feature extraction described by Vrabel [8]. All of the packets, including those without EAS tracks, had to pass a virtual trigger implementation to ensure these would actually be recorded by the mission hardware. Simulated EAS tracks were generated using the EUSO simulation and analysis framework (ESAF), with the UV background of packets being copied from a selected sample of flight data. Together, this resulted in around 33 500 positive samples. To add an equal number of negative samples, 3 sources of UV background noise were used:

- 1) Flight data manually classified as noise (approx. 2 000 samples)
- 2) Flight data evaluated with other approaches not to contain an EAS track with high probability (approx. 12 700 samples).
- 3) Additional noise samples created from source no. 2 by repeating a time-slice of packet frames to get a single packet.

The last source is less than ideal, as a packet containing repeated identical frame sequences is unlikely to ever occur in real data. However, the number of frames in a packet time-slice used to create dataset entries is more-or-less equal to the number of frames in this repeated time-slice. This makes it less problematic than if we had used the whole packet. From a total of nearly 100 000 noise samples in source no. 3, approx. 14 000 were used to complement the first 2 sources and create the training dataset, numbering 66 914 items.

### D. Network architectures

2 types of network architectures were used:

- Single-input CNNs, which consumed only the X-Y projection.
- Triple-input CNNs, which consumed all 3 types of projections.

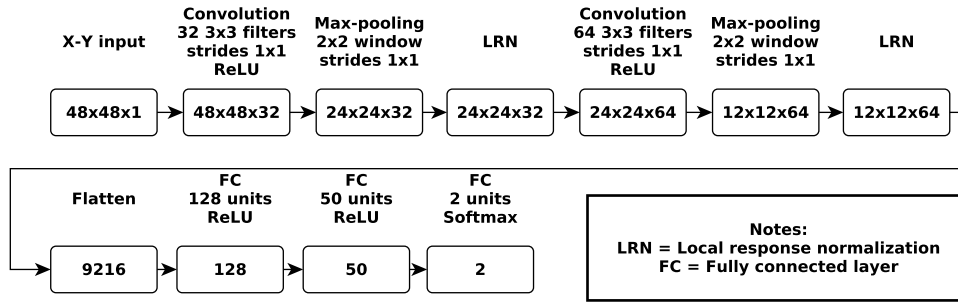


Fig. 2 Used single-input CNN architecture. Output dimensions are in rounded rectangles.

Table 2  
 Training dataset configurations.

| Training dataset   | Train/test split | EAS samples in test subset | Noise samples in test subset |
|--------------------|------------------|----------------------------|------------------------------|
| Simu               | 51 914 / 15 000  | 7 533                      | 7 467                        |
| Synth              | 360 000 / 40 000 | 19 958                     | 20 042                       |
| Mixed (15000 Simu) | 373 500 / 41 500 | 20 788                     | 20 712                       |
| Mixed (30000 Simu) | 387 000 / 43 000 | 21 567                     | 21 433                       |
| Mixed (45000 Simu) | 400 500 / 44 500 | 22 219                     | 22 281                       |

Single-input CNNs served to test if the networks were even capable of picking up any relevant discriminatory patterns in the projection. Triple-input CNNs, by having access via the GTU-X and GTU-Y projections also to the time sequence of PE counts in the packet time-slice, were hypothesized to better discriminate noise artifacts, such as single-frame tracks visible in the X-Y projection. For each of the 2 types, we have created a single concrete architecture for evaluation.

The concrete architectures were based on a solution used by Lincoln [10] for classifying monochromatic images of particle tracks in a vapor chamber to 3 classes of particles. We have also incorporated some design elements from Ballard and Damiens solution [11], which was a tutorial example used for the MNIST handwritten digit classification task. Both of these are relatively simple 2-layer CNNs with a max-pooling layer after each convolutional layer, and 2 hidden fully connected (FC) layers, ending with a softmax classifier.

A diagram of the single-input CNN architecture can be seen in Fig. 2. The triple-input CNN used the same layer stack in the convolutional portion of the network for each input, with the output of these 3 stacks being flattened and concatenated before being passed to the first FC layer.

### III. TRAINING

All models were trained from scratch for 30 epochs on datasets created from a time-slice of 20 packet frames. The training datasets can be seen in table 2. The mixed datasets were created from the whole dataset of synth data into which we added 15 000, 30 000 and 45 000 samples from the simu dataset. Creation was done ensuring a balanced representation of positive and negative cases in the new datasets as well as non-overlap with the evaluation set of simu data.

A subset of samples from each dataset was used as a test subset to monitor signs of overfitting during the training, again ensuring a balanced representation of both cases. The test subset of the simu dataset also served for the final evaluation of metrics for all models, while the test subset of the synth dataset was used to evaluate models trained only on synthetic data.

### IV. EVALUATION

2 primary metrics are used during evaluation:

- *Sensitivity*, defined as the ratio of true positives (TP) to actual positives.
- *Specificity*, defined as the ratio of true negatives (TN) to actual negatives.

The evaluation results are summarized in table 3. It can be seen that models trained only on the synth dataset performed far worse in terms of specificity than models trained on either the mixed or simu datasets. We have ascribed this discrepancy to the fact that, due to using actual noise samples from flight data, the UV background was better approximated, including potential noise artifacts imitating an EAS track in at least one projection. The simulation of such artifacts in the synth data generator had not been implemented.

Table 3  
 Model evaluation results.

| Architecture | Trained on                  | Evaluated on | TP     | FN    | TN     | FP    | Specificity | Sensitivity |
|--------------|-----------------------------|--------------|--------|-------|--------|-------|-------------|-------------|
| single-input | simu data                   | simu data    | 7 308  | 225   | 7 357  | 110   | 98,53%      | 97,01%      |
| triple-input | simu data                   | simu data    | 7 199  | 334   | 7 433  | 34    | 99,54%      | 95,57%      |
| single-input | synth data                  | synth data   | 14 349 | 5 609 | 19 281 | 761   | 96,2%       | 71,9%       |
| triple-input | synth data                  | synth data   | 14 612 | 5 346 | 19 729 | 313   | 98,44%      | 73,2%       |
| single-input | synth data                  | simu data    | 7 460  | 73    | 232    | 7 235 | 3,11%       | 99,03%      |
| triple-input | synth data                  | simu data    | 7 232  | 301   | 2 473  | 4 994 | 33,12%      | 96%         |
| single-input | mixed data<br>(15 000 simu) | simu data    | 6 547  | 986   | 7 340  | 127   | 98,3%       | 86,91%      |
| triple-input | mixed data<br>(15 000 simu) | simu data    | 6 819  | 714   | 6 898  | 569   | 92,38%      | 90,52%      |
| single-input | mixed data<br>(30 000 simu) | simu data    | 6 938  | 595   | 7 303  | 164   | 97,8%       | 92,10%      |
| triple-input | mixed data<br>(30 000 simu) | simu data    | 7 021  | 512   | 7 286  | 181   | 97,58%      | 93,20%      |
| single-input | mixed data<br>(45 000 simu) | simu data    | 7 059  | 474   | 7 298  | 169   | 97,74%      | 93,71%      |
| triple-input | mixed data<br>(45 000 simu) | simu data    | 7 067  | 466   | 7 390  | 77    | 98,97%      | 93,81%      |

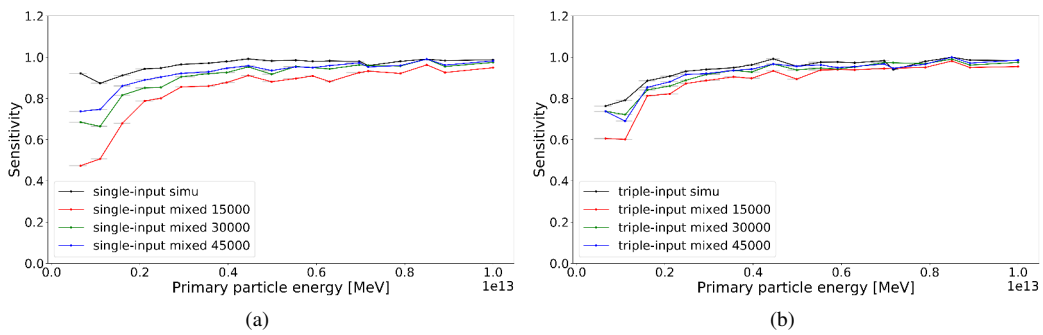


Fig. 3 Sensitivity as a function of simulated primary particle energy in MeV.

Table 4  
 Flight data evaluation

| Model        | Trained on          | # of flight data tagged as containing EAS tracks |
|--------------|---------------------|--|
| single-input | simu dataset        | 2 200  |
| triple-input | simu dataset        | 628  |
| single-input | mixed (15 000 simu) | 18 763   |
| triple-input | mixed (15 000 simu) | 19 315   |
| single-input | mixed (30 000 simu) | 8 484  |
| triple-input | mixed (30 000 simu) | 4 331  |
| single-input | mixed (45 000 simu) | 5 299  |
| triple-input | mixed (45 000 simu) | 3 290  |

This would seem to be corroborated by the visualized outputs of the convolutional layers closest to the inputs. When fed samples of simu data containing a visible EAS track, models trained on the synth and mixed (15 000 simu) datasets exhibited a single active filter. Furthermore, there was very low contrast between the EAS track and UV background. Models trained on the simu dataset and datasets with a higher admixture of simu data exhibited multiple active filters for the same input, with much sharper contrast.

Model sensitivity was also analyzed as a function of various EAS attribute values. Models trained on simu and mixed datasets exhibited low variance in sensitivity as a function of the angles characterizing the EAS track direction. A more pronounced trend is the variance of sensitivity as a function of primary particle energy, where these models showed a decrease in sensitivity at lower energy levels, as can be seen in Fig. 3. It should be noted, however, that the energy bins below  $0.1 \times 10^{13}$  MeV contained fewer samples, making the sensitivity calculation less certain.

Since the only models showing satisfactory performance were those trained on simu and mixed datasets, these were used to evaluate the flight data. The number of items predicted by each model to contain EAS tracks is shown in table 3. The intersection of all these sets of data contains 209 items. Of those, 139 items were from the same approx. time and date of recording. Looking at the original packets, we have determined them to be completely identical. As the exact same sequence of frames in different packets is very unlikely, we have concluded this to be an anomaly, possibly due to data transmission or storage error.

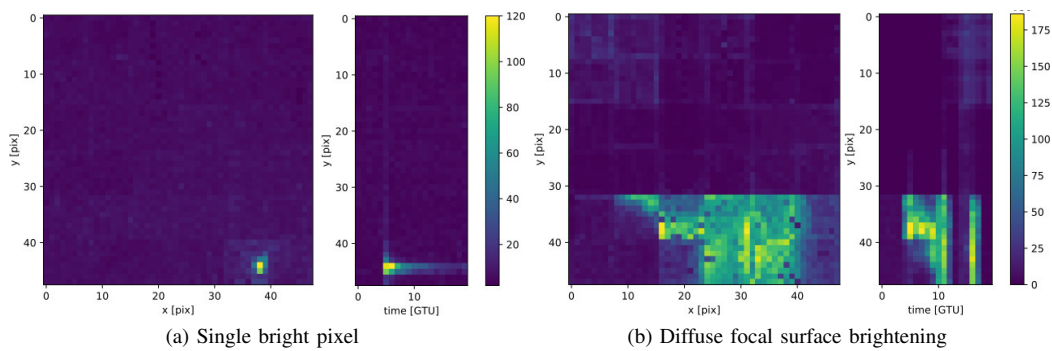


Fig. 4 Representative samples of the 2 event classes tagged by all models as EAS, in X-Y and GTU-Y projections.

All other items in this intersection exhibited one of two patterns. One was a momentary brightening of a single pixel or localized group of pixels fading off in time (Fig. 4a). The other was a persistent brightening across larger parts of the focal surface (Fig. 4b). Given the expected shape and brightness pattern of EAS tracks in packet projections of simulated data, we have concluded these are unlikely to be EAS tracks, but a satisfactory explanation for them has not been reached.

## V. CONCLUSION

In this work, we have investigated the use of CNNs for image classification of EUSO-SPB mission data. We have achieved satisfactory results classifying simulated mission data with EAS tracks using relatively simple CNN architectures with only 2 convolutional layers. After applying the models to the actual mission data, we have found 209 samples of interest, although a preliminary examination does not seem to indicate these actually contain EAS tracks. We could also see that even models working with only the X-Y projection as input could achieve over 90% total classification accuracy on the test set of simulated data.

A downside to processing multiple projections via parallel stacks of convolutional layers is the larger number of trainable parameters. But a model with access to information about the time sequence of PE counts seems to offer a better rejection of false positives. An interesting possibility might be to use architectures which process only the GTU-X and GTU-Y projections or only one of them. Alternatively, the use of CNNs for processing video data is also an interesting research direction.

## REFERENCES

- [1] V. Scotti and G. Osteria, "The EUSO-SPB mission," in *Proceedings of The European Physical Society Conference on High Energy Physics — PoS(EPS-HEP2017)*. Sissa Medialab, 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.22323/1.314.0024>
- [2] J. H. Adams *et al.*, "The JEM-EUSO mission: An introduction," *Experimental Astronomy*, vol. 40, no. 1, pp. 3–17, 2015. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10686-015-9482-x>
- [3] G. Abdellaoui *et al.*, "Cosmic ray oriented performance studies for the JEM-EUSO first level trigger," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. 866, pp. 150–163, 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.nima.2017.05.043>
- [4] M. E. Bertaina *et al.*, "The trigger logic of EUSO-SPB and its performance," in *Proceedings of 35th International Cosmic Ray Conference — PoS(ICRC2017)*. Sissa Medialab, 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.22323/1.301.0443>
- [5] F. Fenu, M. E. Bertaina, A. Bortone, A. Cummings, N. Sakaki, A. Veneziani, and S. Cambursano, "Expected number of extensive air showers observable by EUSO-SPB," in *Proceedings of 35th International Cosmic Ray Conference — PoS(ICRC2017)*. Sissa Medialab, 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.22323/1.301.0426>
- [6] A. Aurisano, A. Radovic, D. Rocco, A. Himmel, M. Messier, E. Niner, G. Pawloski, F. Psihas, A. Sousa, and P. Vahle, "A convolutional neural network neutrino event classifier," *Journal of Instrumentation*, vol. 11, no. 09, pp. P09 001–P09 001, sep 2016. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1088/1748-0221/11/09/P09001>
- [7] D. N. Castaño, A. Brill, B. Kim, and T. B. Humensky, "Exploring deep learning as an event classification method for the cherenkov telescope array," in *Proceedings of 35th International Cosmic Ray Conference — PoS(ICRC2017)*. Sissa Medialab, aug 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.22323/1.301.0809>
- [8] M. Vrabel, "An approach for air shower pattern recognition in euso-spb data," in *Proceedings of 18th Scientific Conference of Young Researchers*. Fakulta elektrotechiky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, 2019, pp. 30–31. [Online]. Available: [http://scyr.kpi.fe.i.tuke.sk/wp-content/scyr-files/winners/SCYR\\_2019\\_Proceedings.pdf](http://scyr.kpi.fe.i.tuke.sk/wp-content/scyr-files/winners/SCYR_2019_Proceedings.pdf)
- [9] J. E. Bresenham, "Algorithm for computer control of a digital plotter," *IBM Systems journal*, vol. 4, no. 1, pp. 25–30, 1965.
- [10] N. Lincoln. Neural network classification of cosmic particles. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/neural-net-classification-cosmic-particles-nicholas-lincoln>
- [11] W. Ballard and A. Damien. Convolutional neural network for mnist dataset classification task. [Online]. Available: [https://github.com/tflearn/tflearn/blob/master/examples/images/convnet\\_mnist.py](https://github.com/tflearn/tflearn/blob/master/examples/images/convnet_mnist.py)

# Kardiovaskulárne ochorenia a ich predikcia

Ludmila PUSZTOVÁ, Jakub Ivan VANKO a Ján PARALIČ

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Technická univerzita v Košiciach  
Letná 9/B, 042 00

ludmila.pusztova.2@tuke.sk, jakub.ivan.vanko@student.tuke.sk, jan.paralic@tuke.sk

**Abstrakt** — Cieľom príspevku je poukázať na dôležitosť riešenia kardiovaskulárnych ochorení a možnosti ich predikcie pomocou vybranej metódy dolovania v dátach. Dáta použité na túto úlohu pochádzali z Framinghamskej štúdie, ktorá sa už dlhé roky venuje zberu dát a výskumu kardiovaskulárnych ochorení. Na vzorku dát sme aplikovali techniku rozhodovacích stromov, konkrétne algoritmy C5.0, C4.5, CART a random forest, pomocou ktorých sme vytvorili modely na klasifikáciu štyroch najzávažnejších kardiovaskulárnych ochorení – mŕtvicu, hypertenziu, angínu a infarkt. Celý analytický proces bol riadený metodikou CRISP-DM, pričom jednotlivé kroky boli vykonané pomocou programovacieho jazyka R.

**KLúčové slová** — kardiovaskulárne ochorenia, predikcia, CRISP-DM

## I. ÚVOD

Napriek pokroku v medicíne ročne umiera veľké množstvo ľudí na rôzne závažné ochorenia. Najčastejšími z nich a zároveň aj hlavnou príčinou mortality vo svete, sú kardiovaskulárne ochorenia, patriace k dominantným ochoreniam obehovej sústavy. V ich dôsledku v roku 2016 zomrelo až 17,9 milióna ľudí, čo predstavuje 31% z celkovej svetovej úmrtnosti [1]. WHO (World Health Organization) odhaduje, že väčšine kardiovaskulárnych ochorení možno predchádzať riešením rôznych rizikových faktorov. Najväznejšie faktory, ktoré zvyšujú riziko vzniku kardiovaskulárnych chorôb sú *nezdravá strava*, *nedostatok fyzickej aktivity*, *fajčenie* a *nadmerné požívanie alkoholu*. Na vznik kardiovaskulárnych chorôb vplyva aj rodinná anamnéza (genetická predispozícia), ktorá bohužiaľ patrí medzi tzv. neovplyvniteľné faktory. Proti kardiovaskulárnym ochoreniam sa vedie celosvetová osвета. Správnym prístupom k životu s úpravou celkového životného štýlu, vrátane stravovacích návykov, je možné kardiovaskulárnym ochoreniam predchádzať alebo zmierniť dôsledky už prebiehajúceho ochorenia.

Medzi typické kardiovaskulárne ochorenia patrí:

- *mŕtvica* (mozgová príhoda) – spôsobená zablokovanou cieovou alebo krvácaním v mozgu,
- *infarkt myokardu* (srdcový infarkt) – nastáva upchatím jednej z tepien, ktorá vedie krv do srdca,
- *srdcová angína* (angina) – forma srdcového ochorenia, ktorá vzniká pri zlom prekrvovaní srdcového svalu,
- *hypertenzia* (vysoký krvný tlak) – stav, kedy je dlhotrvajúci tlak krvi oproti stenám tepien dostatočne vysoký na to, že môže spôsobovať zdravotné problémy.

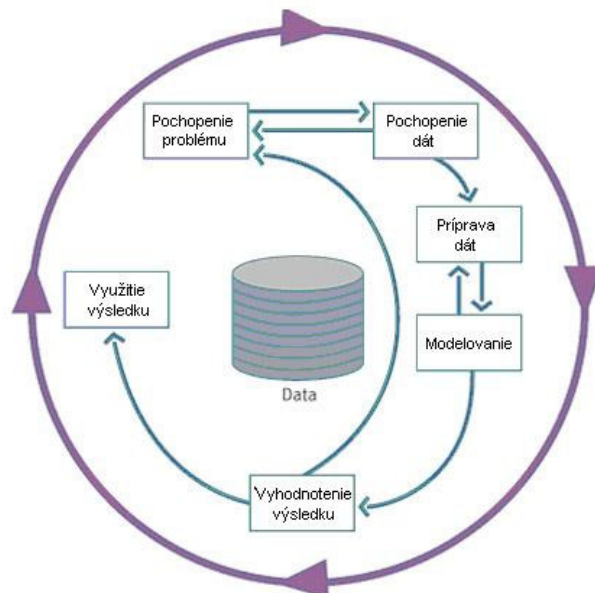
Využitie dátovej analytiky na predikciu vzniku kardiovaskulárnych chorôb ako aj identifikáciu dôležitých faktorov môže byť dôležitým spôsobom ako predchádzať týmto ochoreniam ich lepším pochopením. V súvislosti s uvedeným bola práve táto skutočnosť motivujúcim faktorom pri riešení vybranej problematiky.

Na dosiahnutie nášho cieľa sme využili dáta z *Framinghamskej štúdie*, ktorá zbierala údaje o pacientoch trpiacich kardiovaskulárnymi ochoreniami od roku 1948 v rôznych intervaloch. Hlavným cieľom *Framinghamskej štúdie* bola podľa [2] prevencia pred vznikom kardiovaskulárnych ochorení. V priebehu štúdie sa prišlo na veľké množstvo faktorov, vďaka ktorým vieme určiť, či má jedinec predpoklad pre vznik niektorého kardiovaskulárneho ochorenia. Už v začiatkoch štúdie sa napríklad potvrdil vzťah medzi *kardiovaskulárnymi*

ochoreniami a cukrovkou. V rámci tejto štúdie sa taktiež potvrdil dnes už známy fakt, že fyzická aktivita znižuje riziko vzniku kardiovaskulárnych ochorení.

## II. CRISP-DM

Metodika CRISP-DM predstavuje univerzálny postup objavovania znalostí a prehľad o celom životnom cykle analytickej úlohy. Táto metodika je zložená zo *šiestich fáz* [3], ktorých sekvencia nie je pevne určená (vid'. Obr. 1). V skutočnosti je v mnohých situáciách vyžadované vrátiť sa k predchádzajúcim fázam a vykonať potrebné akcie.



Obrázok 1 Metodika CRISP-DM

A. *Pochopenie cieľa (pochopenie problému)* – zameriava sa na stanovenie biznis cieľov ako aj stanovenie cieľov z pohľadu dolovania v dátach. Dôležité je zhodnotiť všetky dostupné zdroje, faktory a predpoklady, ktoré sa musia brať do úvahy pri stanovení cieľov dolovania v dátach. Súčasťou tejto fázy je aj stanovenie kritérií úspechu, ktoré pomôžu vyhodnotiť získané riešenia. Na konci tejto fázy sa vytvorí plán projektu, ktorý povedie k splneniu stanovených cieľov.

B. *Pochopenie dát* – zaoberá sa dátami vybranými na analýzu. Prvotne je potrebný zber dát a ich popis s cieľom získať všetky potrebné informácie, ako napríklad formát a charakter dát, ich množstvo, vysvetlenie atribútov, distribúcia hodnôt cieľového atribútu a pod. V závere sa vykonáva prieskum dát, čo zahŕňa prvé analýzy na zistenie vzájomných vzťahov medzi atribútmi a jednoduché štatistiky.

C. *Príprava dát* – fáza označovaná ako časovo najnáročnejšia v procese objavovania znalostí. Zahŕňa činnosti vedúce k vytvoreniu množiny dát vhodnej pre modelovanie. Výber dát, ktorý zabezpečuje selekciu atribútov a záznamov z dátovej množiny; čistenie dát, pri ktorom sa zvyšuje ich kvalita napríklad doplnením chýbajúcich hodnôt; konštrukcia dát, kedy je možné generovať nové atribúty; integrácia dát s cieľom kombinovať informácie z viacerých záznamov a nakoniec formátovanie dát, ktoré predstavuje najmä syntaktické modifikácie dát.

D. *Modelovanie* – pozostáva z výberu techniky modelovania, vybudovania modelu a ohodnotenia modelu. V prvom rade je nutné vybrať techniku (alebo viac techník) modelovania a určiť spôsob testovania vygenerovaných modelov. Jednotlivé otestované modely sa vyhodnocujú rôznymi metrikami. Pre našu úlohu sme si zvolili *rozhodovacie stromy*, nakoľko poskytujú jednoducho interpretovateľné výsledky. Použili sme najznámejšie algoritmy rozhodovacích stromov – C4.5, C5.0, random forest a CART. Na vyhodnotenie jednotlivých modelov sme použili metriky *presnosť*, *úspešnosť*, *senzitivitu*, *špecificitu*, a taktiež sme sa zameriavali aj na *dôležitosť atribútov* v jednotlivých modeloch.

E. *Vyhodnotenie* – v tejto fáze sú výsledky vyhodnocované z manažérskeho hľadiska, aby sa zistilo splnenie cieľov formulovaných vo fáze pochopenia cieľa. Stanovia sa taktiež aj ďalšie



kroky projektu, rozhoduje sa o ukončení projektu alebo následnom pokračovaní do fázy nasadenia.

F. *Nasadenie* – získané znalosti je nutné upraviť do podoby použiteľnej pre zákazníka. V prvom rade je nutné vypracovať plán nasadenia výsledkov do praxe. Následne sa musí vypracovať plán monitorovania a údržby, a nakoniec vypracovať záverečná správa projektu.

### III. ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU

Vedci prisudzujú veľkú dôležitosť včasnej a presnej diagnostike kardiovaskulárnej choroby. Počet dospelých ľudí s určitou formou kardiovaskulárneho ochorenia rýchlo rastie spolu s nevhodným životným štýlom dnešných ľudí. Analýza súčasného stavu popisuje niekoľko prípadových štúdií zaoberajúcich sa využitím dolovania v dátach v súvislosti s kardiovaskulárnymi ochoreniami.

Štúdia [4] pracuje s dátami Framinghamskej štúdie a zameriava sa na *infarkt myokardu*. Autori navrhli spojenie dolovania asociačných pravidiel (ARM – Association Rule Mining) a zhľukovania. ARM je sľubná metóda poskytujúca lepšie riadenie chronických chorôb, avšak má tendenciu generovať obrovské množstvo pravidiel. Štúdia sa zameriava na otázku identifikovať relatívne nesúvislé skupiny pacientov, ktoré majú veľké riziko potenciálnych chronických ochorení. Cieľom identifikácie takýchto skupín je poskytnúť nové popisy chronických ochorení, čo môže pomôcť poskytovateľom zdravotnej starostlivosti pri formulovaní preventívnych opatrení. ARM bola použitá na preskúmanie z dát vyplývajúcich asociácií rôznych faktorov pre skupinu pacientov s vysokým rizikom infarktu. Na získanie zmysluplného pohľadu na pacientov s chronickými chorobami bola použitá integrovaná štruktúra zhľukovania a ARM (Cluster-ARM). Štruktúra bola úspešná, nakoľko sa podarilo podstatne znížiť súbor asociačných pravidiel na zvládnuteľný súbor zhľukov poskytujúci charakteristické atribúty podskupín pacientov.

V štúdií [5] bolo použitých viacero metód pre podporu diagnostiky pacientov s kardiovaskulárnym ochorením. Cieľom bolo porovnať tieto rozdielne metódy dolovania v dátach. Zvolený dataset [6] obsahoval 14 atribútov a 303 záznamov ľudí, ktorí boli vyšetrení na prítomnosť kardiovaskulárneho ochorenia. Po príprave údajov autori zvolili metódu *zhľukovania* na základe potreby zoskupenia ľudí, ktorí majú / nemajú kardiovaskulárne ochorenie. Na tento účel použili metódu *Simple K-means*. Zistili, že až u 45% vyšetrených ľudí bolo diagnostikované nejaké kardiovaskulárne ochorenie. Následne aplikovali vybrané metódy modelovania, konkrétne *rozhodovacie stromy* (algoritmus J48), *metódu podporných vektorov* (algoritmus SMO), *naivný Bayes* a *k-najbližších susedov* (lazy IBK). Na vyhodnocovanie modelov použili metriky True Positive Rate (TPR) a False Positive Rate (FPR). Po rozdelení dát na tréningovú a testovaciu aplikovali každú vybranú metódu. Najlepšie výsledky priniesla *metóda podporných vektorov* na základe vybraných metrík (TPR 97,70%, FPR 0,02%, presnosť 97,70% a návratnosť 97,70%). Tieto výsledky jasne ukázali, že navrhovaná metóda umožnila efektívny a presný spôsob predikcie kardiovaskulárných ochorení.

Štúdia [7] vznikla v dôsledku zvyšujúcej sa spolupráce medzi kardiovaskulárnymi lekármi a vedcami v oblasti výpočtovej techniky zameriavajúcimi sa na dolovanie v dátach. Vypracovali štyri rôzne klasifikačné modely pomocou na dátach o pacientoch trpiacich kardiovaskulárnym ochorením a následne ich porovnali. Použitý bol dataset s 839 *pacientmi*, ktorí boli rozdelení do dvoch rizikových skupín (Vysoké a nízke riziko úmrtnosti), pričom ich symptómy, klinické nálezy a fyziologické merania boli opísané v sedemnásti atribútoch. Hodnoty atribútov Risk1 a Risk2 boli generované podľa heuristických klinických modelov. Atribút Risk1 je vysoko rizikový (*high*) v prípade, ak pacient zomrie do 30 dní po operácii, inak je nízko rizikový (*low*). Risk2 je vysoko rizikový, ak pacient zomrie do 30 dní, alebo ho postihne ťažká kardiovaskulárna príhoda (mŕtvica, infarkt a pod.). Použité boli metódy *Bayesov klasifikátor*, *rozhodovací strom* (algoritmus C4.5), *k-najbližších susedov* (NNge vo Weka) a *neurónové siete* (MLP vo Weka). Najlepšie výsledky dosiahli rozhodovacie stromy (84,51%) a bayesovský klasifikátor (84,03%).

Okrem týchto štúdií sa kardiovaskulárnymi ochoreniami a ich predikciou venovali aj štúdie [8] a [9].

### IV. ANALYTICKÝ PROCES

V tejto časti je popísaný proces analýzy dát o participantoch z Framinghamskej štúdie, ktoré sú po registrácii dostupné na [10]. Proces je riadený metodikou CRISP-DM.

#### A. *Pochopenie cieľa*

Cieľom z biznis pohľadu bolo umožnenie včasného a presného určenia diagnózy pacienta, ktorá by zabezpečila lepšie stanovenie liečby. Z pohľadu dolovania v dátach sme sa zamerali na klasifikáciu s cieľom predikovať, či pacient má/nemá jednu zo závažných kardiovaskulárných chorôb.



### B. Pochopenie dát

Zvolený dataset tvorila podmnožina dát zozbieraných počas Framinghamskej štúdie, ktorá obsahovala dáta od 4434 *participantov* testovaných v troch periódach (v priemere každých šesť rokov). Dataset celkovo obsahoval 11 627 *záznamov* a 39 *atribútov*. Tieto atribúty popisujú rôzne laboratórne, klinické, dotazníkové, či inak hodnotené údaje o participantoch vo veku od 32 do 81 rokov. Medzi jednotlivé atribúty patria napríklad *ID pacienta* (RANDID), *pohlavie pacienta* (SEX), *čas periódy* (PERIOD), *počet dní od prvotného testu* (TIME), *vek participanta* (AGE), *systolický* (SYSBP) a *diastolický* (DIABP) *krvný tlak*, *počet vyfajčených cigariet za jeden deň* (CIGPDAY), *dosiahnuté vzdelanie* (educ), *obsah cholesterolu v krvi* (TOTCHOL), *index telesnej hmotnosti* (BMI), *hodnota cholesterolu s vysokou hodnotou lipoproteínu* (HDL), *hodnota cholesterolu s nízkou hodnotou lipoproteínu* (LDL), *výskyt infarktu v danej perióde* (PREVMI), *výskyt hypertenzie v danej perióde* (PREVHYP) a pod. Okrem týchto atribútov, ktoré boli definované pre každú periódu zvlášť, dataset obsahuje aj atribúty, ktoré hovoria o celom priebehu štúdie (viď. Tab.1).

Tabuľka 1  
 Popis atribútov celej štúdie

| Atribút  | Popis   | Rozsah                            |
|----------|---|-----------------------------------|
| ANGINA   | Nastala srdcová angína u participanta                       | 0=Nie (n=9725)<br>1=Áno (n=1902)  |
| HOSPMI   | Zistený Infarkt Myokardu                                    | 0=Nie (n=10473)<br>1=Áno (n=1154) |
| MI_FCHD  | Zistený Infarkt Myokardu alebo iné závažné ochorenie srdca  | 0=Nie (n=9839)<br>1=Áno (n=1788)  |
| ANYCHD   | Zistené akékoľvek závažné ochorenie srdca                   | 0=Nie (n=8469)<br>1=Áno (n=3158)  |
| STROKE   | Zistená mŕtvica   | 0=Nie (n=10566)<br>1=Áno (n=1061) |
| CVD      | Prekonaná nerozpoznaná kardiovaskulárna choroba             | 0=Nie (n=8728)<br>1=Áno (n=2899)  |
| HYPERTEN | Zistená hypertenzia   | 0=Nie (n=2985)<br>1=Áno (n=8642)  |
| DEATH    | Participant zomrel (Z akýchkoľvek dôvodov)                  | 0=Nie (n=8100)<br>1=Áno (n=3527)  |
| TIMEAP   | Počet dní od začiatku testov po prvú srdcovú angínu         | 0-8766                            |
| TIMEMI   | Počet dní od začiatku testov po prvý HOSPMI                 | 0-8766                            |
| TIMEMIFC | Počet dní od začiatku testov po prvé MI_FCHD                | 0-8766                            |
| TIMECHD  | Počet dní od začiatku testov po prvé ANYCHD                 | 0-8766                            |
| TIMESTRK | Počet dní od začiatku testov po prvé STROKE                 | 0-8766                            |
| TIMECVD  | Počet dní od začiatku testov po prvé CVD                    | 0-8766                            |
| TIMEHYP  | Počet dní od začiatku testov po prvé HYPERTEN               | 0-8766                            |
| TIMEDTH  | Počet dní od začiatku testov po úmrtie (DEATH) participanta | 0-8766                            |

Za cieľové atribúty sme stanovili atribúty ANGINA, HOSPMI, HYPERTEN a STROKE, ktoré predstavovali najväčšie kardiovaskulárne ochorenia. Štatistickou analýzou sme zistili, že najčastejším ochorením bola *hypertenzia* (HYPERTEN), ktorá nastala u 3252 participantov, čo predstavuje 73,34%.

V dostupnom datasete sa nachádzalo aj veľké množstvo chýbajúcich hodnôt. Najvyšší počet sa vyskytoval u atribútov *LDL* (8601) a *HDL* (8600), ktoré boli počas štúdie merané len v tretej perióde. Chýbajúce hodnoty sa okrem spomínaných nachádzali aj v atribútoch *GLUCOSE* (1440), *BPMEDS* (593), *TOTCHOL* (409), *EDUC* (295), *CIGPDAY* (79), *BMI* (52) a *HEARTRTE* (6).

### C. Príprava dát

Fázu prípravy dát sme rozdelili do troch úprav:

*1.úprava* - odstránenie chýbajúcich hodnôt, avšak s čo najväčším množstvom ponechaných záznamov. Atribúty *HDL* a *LDL* obsahovali najviac chýbajúcich hodnôt zo všetkých atribútov. Bolo to z toho dôvodu, že tieto hodnoty boli merané len v tretej, a teda poslednej perióde štúdie, a tak vo všetkých záznamoch prvej a druhej periódy obsahovali tieto atribúty chýbajúce hodnoty. Rozhodli sme sa ich preto z datasetu odstrániť a takto nám v úprave 1 ostalo celkovo 9310 *záznamov* a 37 *atribútov*.

2.úprava - úprava chýbajúcich hodnôt. V numerických atribútoch *HEARTRTE*, *GLUCOSE*, *CIGPDAY*, *BMI* a *TOTCHOL* sa nachádzal menší počet chýbajúcich hodnôt, doplnili sme ich prímerom jednotlivých atribútov. Atribút *educ* sme sa rozhodli v tejto úprave vymazať, keďže nijako výrazne neovplyvňoval výskyt kardiovaskulárneho ochorenia. Pri atribúte *BP MEDS*, ktorý hovorí či participant berie lieky na zvýšený krvný tlak, sme sa rozhodli doplniť chýbajúce hodnoty hodnotou 0, čo znamená, že participant lieky na zvýšený krvný tlak nebral. Taktiež sme odstránili atribúty HDLC a LDLC ako v úprave 1. Výsledný dataset obsahoval celkovo 11627 záznamov a 36 atribútov.

3.úprava - úprava chýbajúcich hodnôt. Opäť sme odstránili atribúty HDLC a LDLC. Na dopĺňanie chýbajúcich hodnôt sme sa rozhodli použiť algoritmus *k-najbližších susedov*. Výsledný dataset celkovo obsahoval 11627 záznamov a 37 atribútov.

#### D. Modelovanie

V tejto fáze sme sa venovali modelovaniu na nami upravených dátach, pričom sme sa zamerali na algoritmy rozhodovacích stromov – C4.5, C5.0, CART a random forest. Testovanie sme aplikovali na všetky tri vzniknuté datasety pre jednotlivé cieľové atribúty – ANGINA, HOSPMI, HYPERTEN a STROKE. Ako vstupné atribúty sme použili buď všetky dostupné (okrem iných cieľových atribútov) alebo iba tie, ktoré mali podľa metódy postupného dopredného výberu najväčší vplyv na danú cieľovú chorobu. Pri tvorbe a overení kvality každého modelu sme použili 70% príkladov na tréningovú množinu a 30% na testovaciu množinu. V nasledujúcej časti uvádzame najúspešnejšie modely pre jednotlivé cieľové ochorenia.

Pri cieľovom atribúte ANGINA, ktorý popisuje, či participant trpel v priebehu štúdie srdcovou angínou, dosahoval najlepšie výsledky algoritmus C4.5 v prípade, keď vstupné atribúty boli všetky (okrem ďalších cieľových atribútov) s použitím množiny z úpravy 3. Pre tento cieľový atribút boli dosiahnuté tieto hodnoty mierok: úspešnosť (99,91%), presnosť (99,65%), senzitivita (99,96%), špecificita (99,65%). Tabuľka č. 2 zobrazuje kontingenčnú tabuľku tohto modelu.

Tabuľka 2  
 Kontingenčná tabuľka klasifikácie atribútu ANGINA

|                            | Nebola diagnostikovaná<br>srdcová angína | Bola diagnostikovaná<br>srdcová angína |
|----------------------------|--|--|
| Netrpí srdcovou<br>angínou | 2891                                     | 2                                      |
| Trpí srdcovou<br>angínou   | 1  | 570                                    |

Pri cieľovom atribúte HOSPMI, ktorý popisuje, či participant prekonal/neprekonal infarkt myokardu, dosahoval najlepšie výsledky algoritmus *random forest* s použitím úpravy 3 v prípade, keď vstupné atribúty boli vyberané pomocou *postupného dopredného výberu*. Pre tento cieľový atribút boli dosiahnuté tieto hodnoty mierok: úspešnosť (99,22%), presnosť (99,33%), senzitivita (99,8%), špecificita (93,77%). Tabuľka č. 3 zobrazuje kontingenčnú tabuľku tohto modelu.

Tabuľka 3  
 Kontingenčná tabuľka klasifikácie atribútu HOSPMI

|                                   | Nebol diagnostikovaný<br>infarkt myokardu | Bol diagnostikovaný<br>infarkt myokardu |
|-----------------------------------|---|---|
| Neprekonal<br>infarkt<br>myokardu | 3121                                      | 21                                      |
| Prekonal infarkt<br>myokardu      | 6   | 316                                     |

Pri cieľovom atribúte HYPERTEN, ktorý popisuje či pacient trpí/netrpí zvýšeným krvným tlakom, dosahoval najlepšie výsledky algoritmu *random forest* s použitím úpravy 3, pričom vstupné atribúty boli vyberané pomocou *postupného dopredného výberu*. Pre tento cieľový atribút boli dosiahnuté tieto hodnoty mierok: úspešnosť (99,83%), presnosť (99,89%), senzitivita (99,46%), špecificita (99,96%). Tabuľka č.4 zobrazuje kontingenčnú tabuľku tohto modelu.

Tabuľka 4  
 Kontingenčná tabuľka klasifikácie atribútu HYPERTEN

|                       | Nebola diagnostikovaná<br>hypertenzia | Bola Diagnostikovaná<br>hypertenzia |
|-----------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Netrpí<br>hypertenziu | 917                                   | 1                                   |
| Trpí<br>hypertenziu   | 5                                     | 2541                                |

Pri cieľovom atribúte STROKE, ktorý popisuje či pacient prekonal/neprekonal mŕtvicu, dosahoval najlepšie výsledky algoritmu *random forest*, pri použití úpravy 2. Vstupné atribúty boli všetky okrem zvyšných cieľových. Pre tento cieľový atribút boli dosiahnuté tieto hodnoty mierok: úspešnosť (99,01%), presnosť (100%), senzitivita (98,93%), špecificita (100%). Tabuľka č. 5 zobrazuje kontingenčnú tabuľku tohto modelu.

Tabuľka 5  
Kontingenčná tabuľka klasifikácie atribútu STROKE

|                    | Nebola diagnostikovaná mŕtvica | Bola diagnostikovaná mŕtvica |
|--------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Neprekonal mŕtvicu | 3167                           | 0                            |
| Prekonal mŕtvicu   | 34                             | 263                          |

Celkovo sme na všetkých úpravách a cieľových atribútoch vytvorili 135 modelov, pričom až 85 z nich vykazovalo presnosť nad 90%.

#### E. Vyhodnotenie

Vygenerované modely sme vyhodnotili z hľadiska *úprav, cieľových chorôb* ale aj z pohľadu *dôležitosti atribútov* v jednotlivých modeloch.

Z *pohľadu úprav* - úprava 1 bola najjednoduchšia a celkovo na nej bolo vykonaných 40 modelov. V porovnaní s ostatnými úpravami dosahovala v priemere najnižšie hodnoty úspešnosti, presnosti, senzitivity a špecificity, takže poskytovala najhoršie výsledky. Modely s najvyššími hodnotami úspešnosti boli vygenerované na množine z 3.úpravy, ktorá bola vytvorená pomocou doplnenia chýbajúcich hodnôt metódou k-najbližších susedov.

Z *pohľadu cieľových chorôb* sme pre každú chorobu vygenerovali 27 modelov. Z celkového počtu 135 modelov dosahovalo až 85 modelov presnosť nad 90%. Najviac modelov s takouto presnosťou bolo vykonaných pre atribút ANGINA (či participant trpí/netrpí srdcovou angínou). Cieľový atribút HOSPMI, hovoriaci o infarkte myokardu, dosahoval presnosť nad 90% v 12 prípadoch, pričom najnižšia hodnota presnosti bola 56,25%. Pri atribúte STROKE, popisujúci prekonanie/neprekonanie mŕtvice, sme dosahovali o niečo lepšie výsledky. Presnosť pri tomto atribúte bola nad hranicou 90% v 20 prípadoch, pričom najnižšia hodnota bola 64,15%.

Pri modeloch, kde sme na výber atribútov použili metódu *postupného dopredného výberu*, boli presnosti nad 96% a vo väčšine prípadov išlo aj o najúspešnejšie modely. Z hľadiska použitých algoritmov boli dosiahnuté najlepšie výsledky pomocou algoritmu *random forest*, ktorý mal presnosť nad 90% pri 27 modeloch.

## V. ZÁVER

Proces popísaný v tomto príspevku je venovaný analýze dát kardiovaskulárnych ochorení pomocou metódy rozhodovacích stromov. Použili sme dáta z Framinghamskej štúdie, ktoré sa zameriavali na štyri cieľové choroby - mŕtvicu, hypertenziu, angínu a infarkt. Z dosiahnutých výsledkov sme zistili, že najlepšou metódou doplnenia chýbajúcich hodnôt je metóda k -najbližších susedov a najúspešnejším algoritmom bol *random forest*. Najvyššia dosiahnutá presnosť pre cieľovú chorobu *angína* bola 99,81%, *infarkt* – 99,22%, *hypertenzia* – 99,83% a *mŕtvica* – 99,01%.

## POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-17-0550.

## REFERENCIE

- [1] Cardiovascular diseases (CVDs). World Health Organization.2017.
- [2] S.S. Mahmood, D. Levy, R.S. Vasan a T.J. Wang: The Framingham Heart Study and the Epidemiology of Cardiovascular Diseases: A Historical Perspective. 2013.
- [3] W. Vorhies: CRISP-DM – a Standard Methodology to Ensure a Good Outcome.2016.
- [4] S. Song, J.Warren, P.Riddle : Developing High Risk Clusters for Chronic Disease Events with Classification Association Rule Mining. 2014.
- [5] F. Mendoza, P. Ariza, R. Morales a kol.: Cardiovascular Disease Analysis Using Supervised and Unsupervised Data Mining Techniques.2016.
- [6] A. Janosi, W. Steinbrunn, M. Pfisterer, R.Detrano : Machine Learning Repository: Fertility Data Set. Recupedao.
- [7] J. Bohacik, D.N. Davis : Data mining applied to cardiovascular data.2010.

- [8] F. Babič, J. Olejár, Z. Vantová, J. Paralič: Predictive and descriptive analysis for heart disease diagnosis. Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems. ISSN 2300-5963 ACSIS, Vol. 1, pp. 155-163.
- [9] Z. Vantová, J. Paralič. Prehľad metód analýzy dát zameraných na kardiovaskulárne ochorenia. Proceedings of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice. ISBN 978-80-553-3192-8. S.331-336.
- [10] National Heart, Lung, and Blood Institute. U.S. Department of Health & Human Services. Dostupné na internete: <https://www.nhlbi.nih.gov/>.
- [11] Zuzana Pella: Data mining research for reduction of cardiovascular diseases risks. In Proc. fo the Scientific Conference of Young Researchers (SCYR 2018). Košice: Technical University, 2018, pp. 75-76.

# Dátová Analytika v Hokeji

*Martin GAJDOŠČÍK, František BABIČ*

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Technická univerzita v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, Slovenská republika

martin.gajdoscik@student.tuke.sk, frantisek.babic@tuke.sk

**Abstrakt** — Šport a dátová analytika boli veľmi dlhú dobu dve odlišné odvetvia; športoví manažéri spoliehali prevažne na svoje vlastné vedomosti alebo o vedomosti ďalších skautov, trénerov, či manažérov. Cieľom našej práce je vytvoriť čo najlepší predikčný model, ktorý bude predpovedať plat hráčov v NHL. Tento model spolu s príslušnými operáciami predspracovania bude podkladom pre vytvorenie jednoduchej webovej aplikácie na podporu rozhodovania. Pomocou tejto aplikácie bude možné zadať meno hráča a získať predikovanú hodnotu jeho platu. To, že nejde o jednoduchú úlohu, dokumentuje aj prehľad súčasného stavu, keď absentuje množina vyskúšaných a zabehaných riešení. Na druhej strane, viacerí analytici si vytvárajú vlastné modely, experimentujú so vstupnými atribútmi a snažia sa nájsť tie kľúčové pre predikciu budúceho platu.

**Kľúčové slová** — dátová analytika, hráči, brankári, predikcia, plat

## I. ÚVOD

Vo svete hokeja a NHL je pravdepodobne jedným z najvýraznejších zástancov dátovej analytika John Chayka, ktorý sa ako 26 ročný stal najmladším generálnym manažérom v NHL v roku 2016 [1]. Dostal sa k tomu vďaka svojej výbornej analytickej práci, v ktorej sa dlhodobo zameriaval na analýzu hry a na rozvoj hráčov pomocou štatistík.

Bostonský analytik Matty Can vytváral podobné analýzy už v minulosti, jeho posledný článok sa zaoberal sezónou 2015/2016<sup>1</sup>. Na tento účel použil algoritmus Náhodné lesy [2]. V predchádzajúcej sezóne ako kľúčové zvolil základné štatistiky, ktoré rozdelil medzi neobmedzených voľných hráčov (UFA), obmedzených voľných hráčov (RFA) a brankárov. Na druhej strane, v skúmanej sezóne použil výpočet na základe podielu 2 rozdielov, rozdielu aktuálneho Cap hitu hráča a jeho minimálneho Cap Hitu v kariére a rozdielu jeho Maximálneho Cap Hitu a minimálneho Cap hitu hráča v kariére. Dôležité pri tvorbe modelu na základe takéhoto vzorca je disponovať dátami z aspoň posledných 3 sezón v NHL, históriou všetkých zmlúv hráčov, vedieť čas podpisu zmluvy a vedieť stav hráča (či RFA alebo UFA). Aplikované zmeny mu priniesli zlepšenie presnosti modelu o 7%.

Americký vedec a analytik Kevin Peck vo svojej práci [3] rozdelil hráčov do viacerých kategórií podľa typu ich zmlúv. Hráči, ktorí majú zmluvu UFA, majú iné vyjednávacie podmienky ako hráči, ktorí majú zmluvy RFA. Základom jeho výpočtov bolo stanovenie miery závislosti medzi atribútom plat a ďalšími siedmymi dôležitými hokejovými atribútmi. Tento model použil na obe skupiny hráčov pomocou dát z jednej sezóny 2011/2012. Rovnako vybral len hráčov, ktorí odohrali aspoň 15 zápasov v danej sezóne. Celkovo bolo na modelovanie použitých 710 hráčov a cieľovým modelom bola regresia.

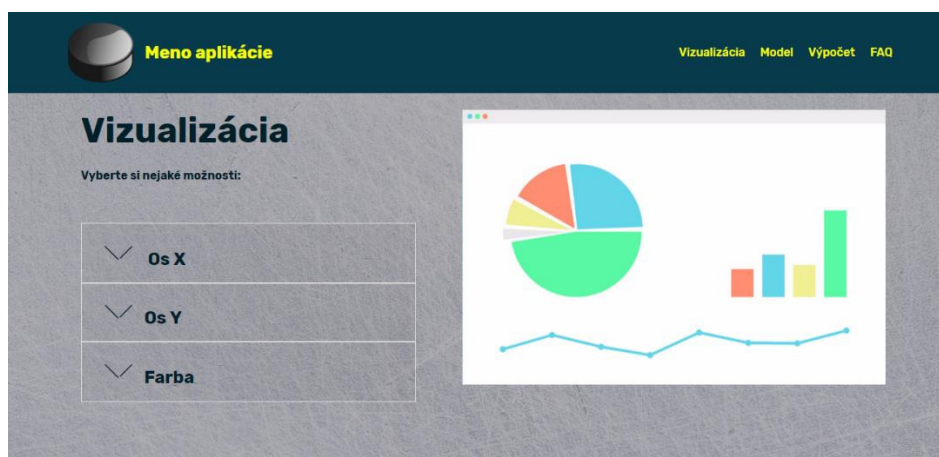
## II. APLIKÁCIA NA PODPORU ROZHODOVANIA

### A. Návrh Používateľského Rozhrania

Pre cieľovú skupinu používateľov s minimálnymi znalosťami dátovej analytiky je vhodné ponúknuť im jednoduchú a interaktívnu webovú aplikáciu. Proces návrhu a implementácie sme začali vytvorením viacerých skíc, ako by mohlo vyzeráť používateľské rozhranie. Na obr.1 môžeme vidieť obrazovku s názvom Vizualizácia, ktorá obsahuje na ľavej strane jednoduché menu. Z tohto menu si používateľ môže vybrať, ktoré atribúty sa budú na grafe zobrazovať. Po kliknutí na jednu z možností sa otvorí okno s možnosťami atribútov pre jednotlivé osi. Na pravej strane sa bude nachádzať graf. Celá obrazovka slúži na jednoduchú exploračnú dátovú analytiku [4]. V podobnom štýle sú vedené aj ostatné obrazovky (Vizualizácia, Model, Výpočet a FAQ). Na každej strane sa nachádzajú 3 okná. V hornom menu nájdeme logo aplikácie spoločne s menom aplikácie, ktoré nás prepájajú na domovskú obrazovku. V pravej časti sú

<sup>1</sup> <https://puckplusplus.com/2015/06/28/predicting-free-agent-salaries/>

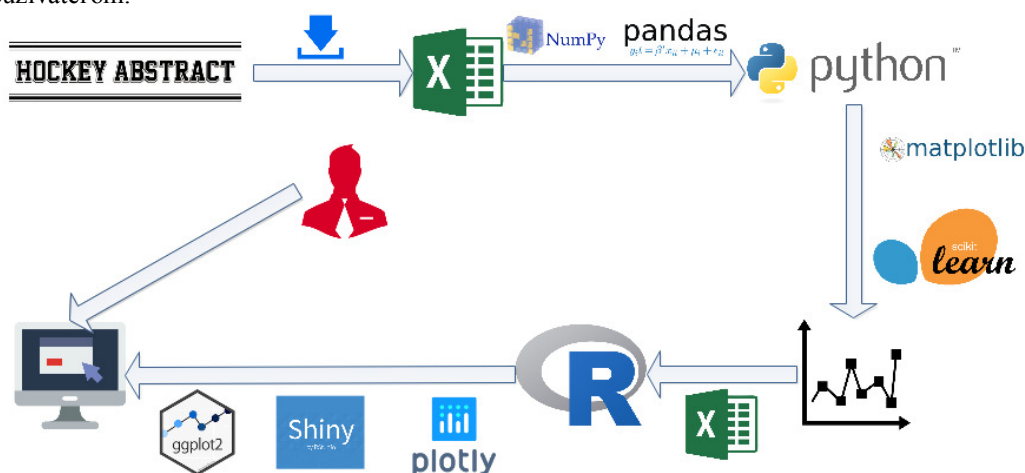
názvy jednotlivých obrazoviek spoločne s ich prepojeniami. V dolnom menu sa nachádzajú najdôležitejšie informácie o aplikácii, spoločne s ich autormi. Horná a dolná lišta sú rovnaké pre všetky obrazovky.



Obr. 1 Mock-up prototypu používateľského rozhrania.

### B. Analytický Proces

Na začiatku použijeme dáta zo serveru Hockey Abstract<sup>2</sup>, ktoré stiahneme vo formáte Excel. Pracovať budeme v prostredí jazyka Python, kde budeme dáta spracovávať pomocou knižníc dostupných v Pythone: Numpy a Pandas. Ak budeme mať dáta dostatočne pripravené, použijeme ich na vytvorenie modelu pomocou ďalších Python knižníc ako Matplotlib a Scikit learn. Po vyhodnotení modelov a výbere toho najlepšieho vytvoríme aplikáciu pomocou jazyka R a jeho knižníc Plotly, Shiny a GGplot2. Táto aplikácia bude následne k dispozícii používateľom.



Obr. 2 Pracovný tok realizovaného analytického procesu.

Vstupná vzorka dát obsahovala 6 908 záznamov, z čoho 6 266 boli záznamy o hráčoch a zvyšných 642 o brankároch. Tí samozrejme majú iné atribúty, ktoré ich ovplyvňujú, preto boli dáta rozdelené do dvoch častí. Analyzovali sme dáta zo 7 sezón od roku 2011.

V ďalšej fáze si dáta rozdelíme do viacerých kategórií podľa významu príslušných skupín atribútov. Brankárske štatistiky si rozdelíme do 10 kategórií podľa údajov o ktorých vypovedajú; 3 z nich vôbec neobsahujú brankárske štatistiky. V prvej z nich sa nachádzajú základné údaje o hráčoch, ktoré sú pre nás dôležité. Ďalšou takouto kategóriou sú pre nás najdôležitejšie údaje o zmluve a tým pádom aj o plati brankára. Treťou kategóriou sú doplnkové údaje o tom, koľkokrát bol hráč hviezdou zápasu alebo koľko krát bol v sezóne a zranený. Zvyšných 7 kategórií je štatistického charakteru, t. z. všetky tieto údaje sú udávané v číslach. Pre nás budú dôležité základné štatistiky ako aj ich rozšírená modifikácia, štatistiky v špeciálnych tímoch ako je presilová hra alebo oslabenie, ako aj pokročilé alebo nájazdové štatistiky. Ofenzívne štatistiky, štatistiky rozloženia striel na bránu a doplnkové údaje nemajú

<sup>2</sup> <http://www.hockeyabstract.com/>



pre nás požadovanú výpovednú hodnotu, preto sa im venovať nebudeme.

Hráčske atribúty sme si rozdelili do 12 rôznych kategórií. Opäť tu nájdeme 3 neutrálne štatistiky, pričom všetky budú pre nás dôležité. Zvyšných 9 kategórií je numerických, tie by sme mohli rovnako rozdeliť na 1 tímovú, 6 individuálnych a 2 pri hre na ľade. Tímové štatistiky budú pre nás dôležité, podobne aj väčšina individuálnych štatistík. Z ďalšieho procesu vynecháme štatistiky vylúčení a štatistiky pri hre na ľade.

Na identifikáciu možných závislostí sme najprv použili korelačnú analýzu. V brankárskych kategóriách sú atribúty v rámci jednej kategórie na sebe navzájom čiastočne závislé. Naopak závislosti naprieč týmito 10 kategóriami sú navzájom nízke. Tento istý fakt platí aj pre 12 kategórií hráčov. Z týchto dôvodov atribúty, ktoré sú najviac na sebe závislé a zároveň nepatria medzi najdôležitejšie, odstránime.

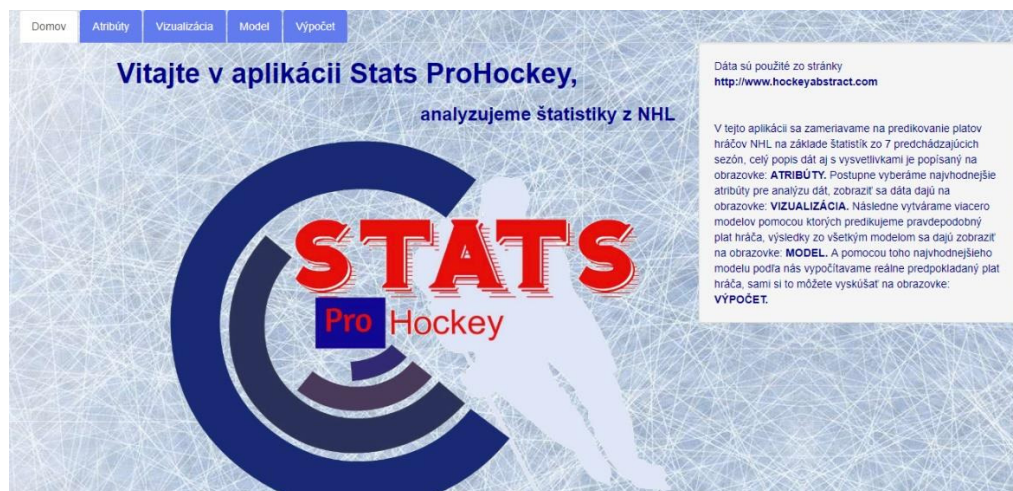
Na výpočet dôležitosti atribútov použijeme metódu Bayesovské Informačné kritérium (BIC) [6]. Postupovali sme po kategóriách a skúmali sme, ktoré kombinácie atribútov priniesli lepšiu hodnotu tohto kritéria. Aj tento krok nám umožnil ďalej zredukovať množinu vstupných atribútov. Na druhej strane sme vytvorili niekoľko nových atribútov, aby sme lepšie zachytili potenciálne skryté informácie v dátach. Pri brankároch sme to nepovažovali za nutné, pri hráčoch sme však vytvorili nových 12 atribútov, napr. G/G, A/G, PIM/G.

Dáta o brankároch sme rozdelili postupne do troch menších podskupín. Ako prvé prišlo rozdelenie podľa výšky zmluvy. Keďže v dátach nenájdeme atribúty hovoriace o statuse hráča, ako nováčika alebo klasického hráča, rozhodli sme sa do kategórie nováčikov zaradiť všetkých hráčov so zmluvou pod 1 milión. Následne z brankárov s platom vyšším ako je 1 milión sme vytvorili ďalšie dva dátové súbory podľa typu zmluvy, buď RFA alebo UFA. Podobne sme postupovali aj pri hráčskych atribútoch, kde sme najprv rozdelili hráčov na základe pozície. V jednej časti sa nachádzajú iba obrancovia a v druhej časti sú všetci útočníci. Celkovo sme vytvorili 9 dátových súborov.

Na identifikáciu kľúčových atribútov ovplyvňujúcich plat hráča sme použili doprednú krokovú regresiu [7],[8]. Tento postup sme aplikovali na všetky vytvorené dátové súbory, a taktiež aj pre celkový súbor brankárov a hráčov. Pri brankárskych štatistikách sme používali 38 numerických atribútov, z ktorých sme extrahovali 16-člennú kombináciu s výslednou prednosťou okolo 54%. Pri hráčoch sme pracovali s redukovaným počtom 49 numerických atribútov, z ktorých sme extrahovali model obsahujúci 8 najdôležitejších atribútov s výslednou presnosťou viac ako 67%.

### C. Finálna Verzia Aplikácie

V aplikácii sa nachádza celkovo 5 obrazoviek. Oproti návrhu sa zmenilo akurát usporiadanie jednotlivých obrazoviek. Karta FAQ sa zmenila na kartu Atribúty a premiestnila sa hneď na druhé miesto za domovskú obrazovku (obr.3), na ktorej sa nachádza hlavné logo s jednoduchým predstavením toho, čo sa v aplikácii dá nájsť a na ktorých obrazovkách to hľadať.



Obr. 3 Domovská obrazovka aplikácie.

Pozadie aplikácie spĺňa kritérium hokejovej aplikácie, keďže sa na ňom nachádza ľadová plocha. Zvyšok aplikácie je farebne prispôbený do podobnej modrej farby. V hornej časti sa nachádza Menu s jednotlivými kartami, medzi ktorými sa používateľ môže prepínať. Na obrazovke Atribúty sa nachádza iba jednoduchý popis všetkých použitých atribútov spolu s ich



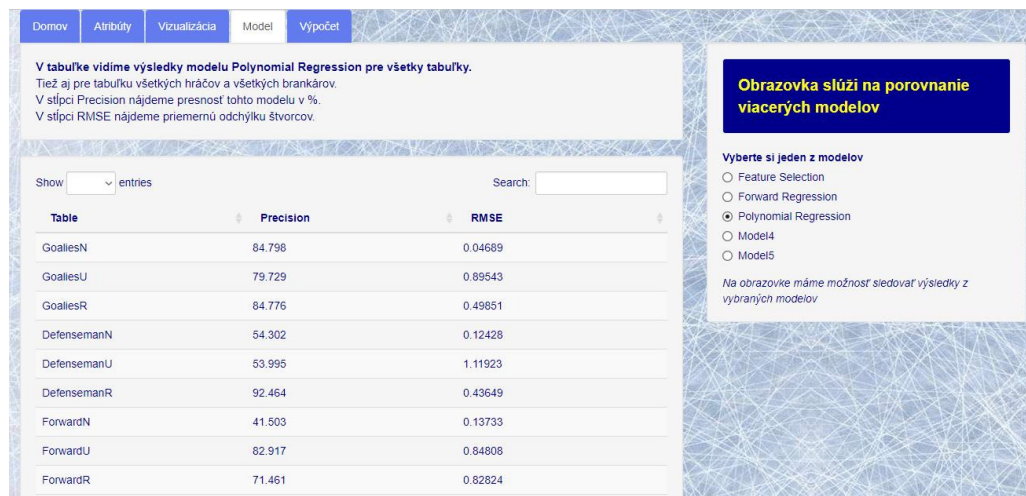
vysvetlivkami.

Na tretej obrazovke Vizualizácia (obr.4) sa na pravej strane nachádza rozbaľovacie menu, kde si používateľ môže vybrať ľubovoľný dátový súbor. Následne sa na ľavej strane obrazovky zobrazí graf s najdôležitejšími údajmi s priradením na cieľový atribút CapHit. Používateľ si na grafe dokáže nájsť jednotlivého hráča, v akom rozmedzí sa pohybuje plat hráčov a ako ho ovplyvňujú najdôležitejšie atribúty.



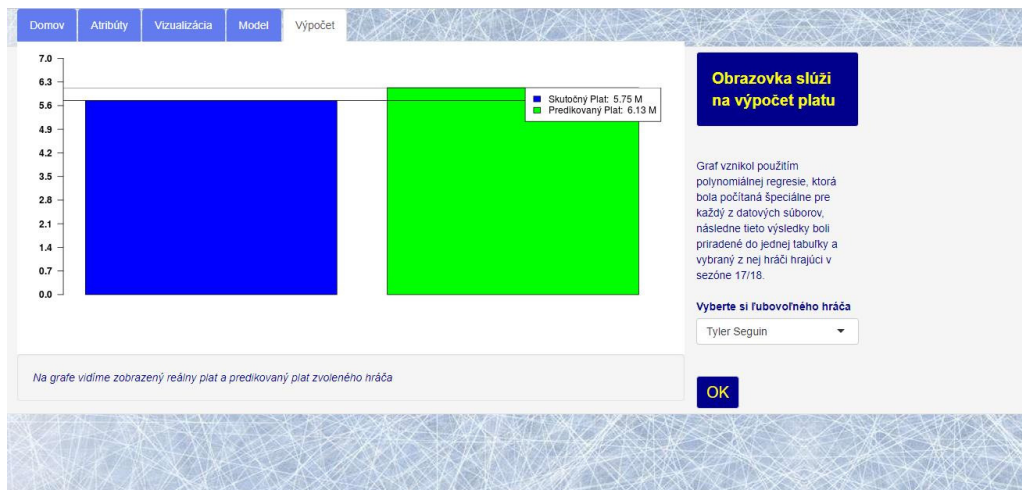
Obr. 4 Obrazovka - Vizualizácia.

Na štvrtej karte Model (obr.5) sa nachádza prehľad viacerých modelov a ich vyhodnotenie.



Obr. 5 Obrazovka - Model.

Na poslednej piatej obrazovke Výpočet sa nachádza hlavný cieľ aplikácie a to predikcia budúceho platu jednotlivých hráčov. V tomto prípade sa celá dôležitá časť obrazovky nachádza v rámečku, kde na pravej strane si používateľ môže vybrať ľubovoľného hráča z menu a svoj výber následne potvrdí kliknutím na tlačidlo OK. Následne sa zobrazí grafická vizualizácia reálneho platu a predikovanej hodnoty, aby sme vedeli porovnať úspešnosť a správnosť našej aplikácie. Na tento účel sme použili dostupné dáta z momentálne poslednej sezóny 2017/2018.



Obr. 5 Obrazovka - Výpočet.

### III. ZÁVER

Cieľom našej práce bolo pochopiť problematiku športových štatistik; skombinovať dosiahnuté znalosti so znalosťami a zručnosťami z oblasti dátovej analytiky a následne implementovať množinu experimentov ako základ pre podpornú aplikáciu na predikciu plátov hráčov v NHL. Dostupné dáta sme postupne spracovali a analyzovali pomocou metodológie CRISP-DM [5]. Na redukciu dimenzií vstupných dát sme použili koreláciu a BIC koeficient. Dáta sme rozdelili do viacerých kategórií, kde sa nachádzali podobné atribúty. Vytvorili a pridali sme viaceré nové atribúty a na záver prípravy sme dáta rozdelili podľa typu zmluvy a podľa pozície hráča na celkovo 9 dátových súborov. Následne sme v každom súbore našli takú kombináciu atribútov, ktorá priniesla najlepšiu výkonnosť použitej doprednej krokovej regresie. Obe kombinácie, zvlášť pre hráčov a brankárov, sme použili na vytvorenie finálneho predikčného modelu pomocou polynomiálnej regresie. Výsledkom je podporná aplikácia, ktorá jednoduchým spôsobom poskytuje základné informácie o vstupných dátach a výslednú predikovanú hodnotu platu pre hráčov NHL zo sezóny 2017/2018.

### ACKNOWLEDGMENT

Táto práca bola čiastočne podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja MŠVVaŠ SR vo forme projektu č. APVV-16-0213 (Znalostné prístupy k inteligentnej analýze veľkých dát) a podporená Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou MŠVVaŠ SR vo forme projektu č. 005TUKE-4/2017 (Zavedenie praktickej výučby mobilných technológií prostredníctvom vývoja aplikácií pre inteligentné zariadenia).

### REFERENCIE

- [1] K. Allen, *29-year-old Coyotes GM John Chayka's bold moves starting to pay off*. USA TODAY, 2018.
- [2] L. Breiman, *Random Forests*. Machine Learning 45, 2001, 5-32.
- [3] K. Peck, *Salary Determination in the National Hockey League : Restricted , Unrestricted , Forwards , and Defensemen*. Western Michigan University, 2012.
- [4] J.W. Tukey, *We need both exploratory and confirmatory*. The American Statistician 34 (1), 1980, 23–25
- [5] C. Shearer, *The CRISP-DM Model: The New Blueprint for Data Mining*. Journal of Data Warehousing 5(4), 2000, 13-22.
- [6] G. Schwarz, *Estimating the Dimension of a Model*. The Annals of Statistics 6(2), 1978, 461-464.
- [7] M.A. Efron, *Multiple regression analysis*. Mathematical Methods for Digital Computers, Ralston A. and Wilf, H. S., (eds.), Wiley, New York, 1960.
- [8] N., Draper, H. Smith, *Applied Regression Analysis*, 2d Edition, New York: John Wiley & Sons, Inc, 1981.

# Platforma OR/TR2JC ako virtuálne prostredie pre validáciu bezpečnostno-kritického softvéru

<sup>1</sup>Štefan KOREČKO, <sup>2</sup>Tomáš HRUŠČ, <sup>3</sup>Samuel JANOTKA,

Katedra počítačov a informatiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technická Univerzita Košice, Slovensko

<sup>1</sup>stefan.korecko@tuke.sk, <sup>2</sup>tomas.hrusc@student.tuke.sk,  
<sup>3</sup>samuel.janotka@student.tuke.sk

**Abstrakt** – S rastúcim počtom automatizovaných systémov v hromadnej doprave rastie aj potreba zabezpečenia absencie chýb v príslušnom hardvéri a softvéri. Pre toto zabezpečenie existuje viacero prístupov, vrátane použitia formálnych metód pri ich špecifikácii a vývoji. Platforma OR/TS2JC je doplnkovým nástrojom pre vývoj riadiacich programov pre železničné systémy. Poskytuje možnosť validovať riadiaci softvér, vyvinutý pomocou formálnych metód, vo virtuálnom prostredí. Virtuálne prostredie je tvorené upravenou verziou vlakového simulátora Open Rails. V tomto článku je opísaný súčasný stav platformy s dôrazom na úpravy vykonané po testovaní, ktoré po prvý krát prebehlo s využitím rozsiahleho modelu železničnej trate, inšpirovaného realitou.

**Kľúčové slová** – riadiace systémy, simulácia, virtuálne prostredie, Open Rails, formálne metódy, validácia

## I. ÚVOD

Situácie, pri ktorých môže prísť k poškodeniu prostredia, majetku alebo k ohrozeniu ľudského života sa považujú za bezpečnostno-kritické [1]. Do tejto kategórie patria aj systémy určené na riadenie železničnej dopravy. Práve tieto riadiace systémy musia spĺňať bezpečnostné štandardy pre zabezpečenie vysokej miery spoľahlivosti s pravdepodobnosťou zlyhania systému nižšou ako  $10^{-7}$  [2]. Na zaručenie vysokej miery spoľahlivosti je vhodné využiť formálne metódy, ktoré poskytujú možnosti verifikácie a validácie. Pod verifikáciu tu rozumieme overenie platnosti požadovaných vlastností systému, špecifikovaných v príslušnom formálnom jazyku. Verifikovaná je špecifikácia alebo implementácia daného systému. Verifikácia je realizovaná príslušnými formálnymi postupmi ako sú dokazovanie teorém (theorem proving) alebo preverovanie modelov (model checking). Validácia je overenie formálne zapísaných požiadaviek voči skutočným požiadavkám. Tu nastáva problém, keďže pre validáciu nie je možné použiť matematický aparát. Namiesto toho sa používajú tzv. animačné prístupy, kde je preverovaný systém simulovaný v podmienkach viac alebo menej pripomínajúcich tie, za ktorých bude prevádzkovaný. Platforma OR/TS2JC (Open Rails / TS2JavaConn) poskytuje virtuálne prostredie pre validáciu riadiacich systémov ovládajúcich signalizáciu a výhýbky na železničnej trati, ako aj samotné vlaky. Riadiaci systém má podobu programu v jazyku Java, dodržiavajúceho predpísané rozhranie. Toto rozhranie je konfigurovateľné tak, aby boli bez ďalších úprav použiteľné programy, vygenerované súčasnými nástrojmi pre formálne metódy. Hlavným prínosom platformy je využitie existujúceho vlakového simulátora, hry Open Rails, ktorá poskytuje relatívne vierohodné prostredie, implementujúce fyzikálny model vlaku a okolitého prostredia. Takýto prístup k využitiu simulátora je využívaný aj v iných prácach, napríklad na overenie korektnosti riadiacich systémov určených pre automatické riadenie áut [3], [4]. Tento článok popisuje základnú architektúru platformy OR/TS2JC (časť II) a testovanie (časť III) a z neho vyplývajúce úpravy (časť IV), vykonané v platforme.

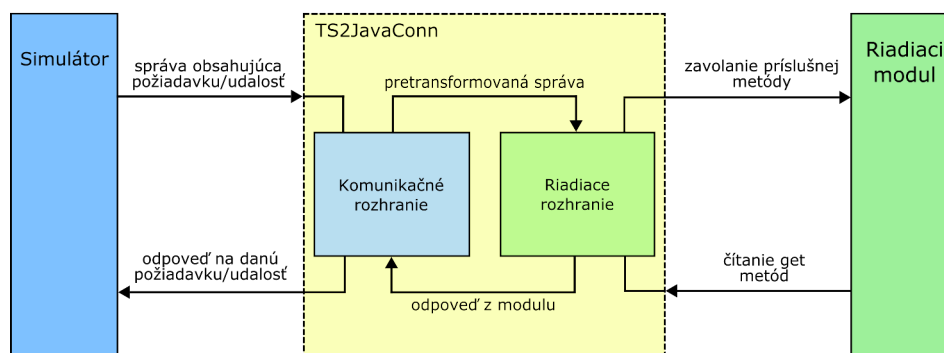
## II. PLATFORMA OR/TS2JC

Platforma OR/TS2JC pozostáva z troch komponentov znázornených na obrázku 1. Prvý komponent reprezentuje vlakový simulátor. Súčasná verzia podporuje využitie na tento účel upravených simulačných hier Open Rails (OR) a Train Director (TD). Simulátor reprezentuje virtuálne prostredie, obsahujúce v prípade OR aj reálnu fyziku pohybu vlakov. Taktiež uchováva všetky stavy

elementov vlakovej trate a poskytuje jednoduché rozhranie na manipuláciu so všetkými elementmi. Voľne dostupná hra Open Rails bola rozšírená o komunikačné rozhranie umožňujúce posilať správy do aplikácie TS2JavaConn. Tieto správy reprezentujú udalosti vytvorené v simulátore, na ktoré má odpovedať externý riadiaci modul. Na obrázku 3 je znázornené grafické rozhranie vlakového simulátora Open Rails.

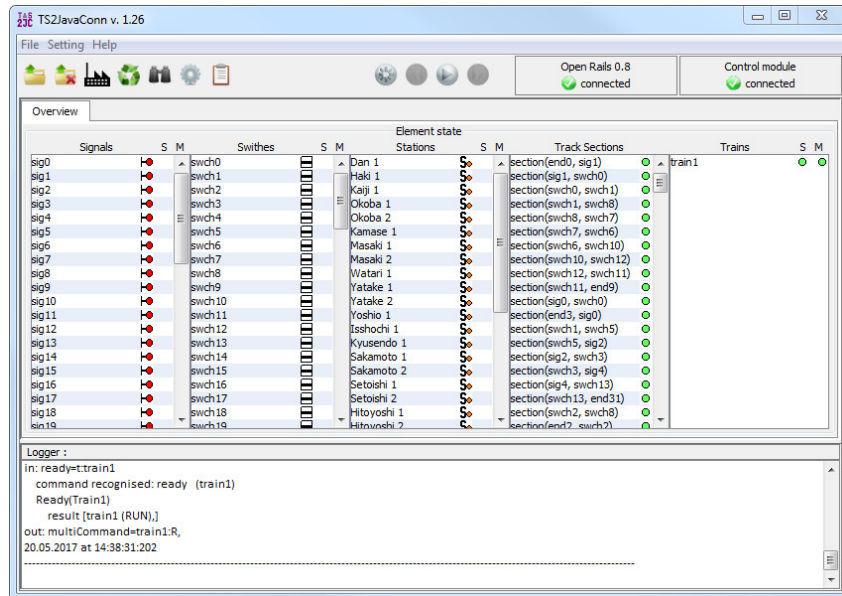
Druhým komponentom je aplikácia TS2JavaConn. Táto aplikácia sprostredkováva komunikáciu medzi simulátorom a načítaným riadiacim modulom. Grafické rozhranie aplikácie, znázornené na obrázku 2 dovoľuje zobrazovať interný stav elementov riadiaceho modulu. TS2JavaConn obsahuje aj generátor kostier riadiacich modulov, čo umožňuje vytvoriť jednoduchú implementáciu modulu pre načítanú vlakovú trať.

Tretí komponent tvorí externý riadiaci modul, ktorý obsahuje logiku ovládania elementov vlakovej trate a uchováva stavy všetkých elementov. Tento modul je riadiacim systémom, ktorý pomocou platformy validujeme. Nakoľko aplikácia TS2JavaConn využíva na načítavanie riadiacich modulov Java reflexiu, aj riadiaci modul musí byť preložený do jazyka Java. Riadiaci modul je jedinečný pre každú trať, dokonca môže pre jednu trať existovať viacero modulov. V prípade formálneho overenia modulov prostredníctvom formálnej metódy nazývanej B-metóda [5] je možné formálne overený modul pretransformovať do jazyka Java prekladačom BKPI [6], dodávaným ako súčasť platformy. Pre vybrané formálne metódy aplikácia TS2JavaConn poskytuje možnosť vygenerovať kosru riadiaceho modulu priamo v ich jazykoch. Ku každému riadiacemu modulu prislúcha konfiguračný súbor, kde je presne definované ako programové rozhranie modulu zodpovedá elementom príslušnej trate, simulovanej v OR.



Obr. 1 Architektúra platformy OR/TS2JC.





Obr. 2 Aplikácia TS2JavaConn po načítaní riadiaceho modulu.



Obr. 3 Manuálne ovládanie vlaku v simulátore Open Rails.

### III. TESTOVANIE

Po niekoľkých rokoch vývoja platformy, kedy bola testovaná najmä na tratiach špeciálne pripravených pre tento účel, bolo rozhodnuté overiť jej použiteľnosť aj pre rozsiahlejšiu trať, už existujúcu pre simulátor Open Rails. Vybraná bola voľne dostupná vlaková trať Nättebo - Mellfors Järnväg. Pri testovaní sa používal riadiaci modul vytvorený pomocou B-Metódy. Zapojené boli tri počítače a na každom bola spustená jedna inštancia Open Rails. Dve inštancie boli v režime slave a jedna v režime master. Inštancia v režime master komunikovala prostredníctvom aplikácie TS2JavaConn s riadiacim modulom. Riadiaci modul bol vyvinutý pomocou B-metódy, avšak bez formálneho dokazovania korektnosti. TS2JavaConn bola spustená na tom istom počítači ako master inštancia OR. Takáto testovacia konfigurácia nám poskytla možnosť overiť 3 v platforme dostupné spôsoby riadenia vlakov [7]: vlak riadený autonómne a plne automaticky, vlak riadený automaticky na základe pokynov z riadiaceho modulu a vlak riadený živým hráčom. Počas testovania boli objavené viaceré menšie chyby súvisiace so simulátorom Open Rails, aplikáciou TS2JavaConn ako aj logikou riadiaceho modulu. Jednotlivé chyby boli úspešne odstránené, čím sa platforma OR/TS2JC pripravila pre budúce nasadenie.

#### IV. VYKONANÉ ÚPRAVY

Oproti prechádzajúcemu stavu platformy OR/TS2JC, ktorý bol podrobnejšie opísaný v článku [7], boli vykonané úpravy vlakového simulátora Open Rails a aplikácie TS2JavaConn. Jednotlivé úpravy boli vykonané na základe nedostatkov odhalených pri testovaní, opísanom v predchádzajúcej časti.

##### A. Open Rails

Pri testovaní niektorých vlakových tratí nastávala situácia, kde simulátor vytvoril sekcie nesprávne. Jednalo sa o trate, ktoré nemali vertikálne alebo horizontálne smerovanie. Pôvodné spracovávanie sekcií bolo totiž navrhnuté na jednoduché horizontálne alebo vertikálne trate. Z toho dôvodu pri komplexnejších mapách s meniacim sa smerovaním neboli sekcie správne vytvorené. V dôsledku toho musel byť zmenený algoritmus na generovanie vnútornej štruktúry trasy. Po vykonaných úpravách algoritmu bol problém generovania sekcií odstránený, čo nám dovoľuje využívať relatívne komplexné trate pre validáciu riadiaceho modulu.

Ďalším zisteným problémom bola nedostatočná veľkosť zásobníka pre prichádzajúce správy od aplikácie TS2JavaConn. To spôsobovalo, že simulátor OR pri obdržaní väčšej správy prestal pracovať korektné. Tento problém bol odstránený vypočítavaním veľkosti zásobníka z prichádzajúcej správy namiesto fixne prednastavenej veľkosti.

V priebehu poslednej série testov platformy OR/TS2JC bolo zaznamenané vypnutie master inštancie simulátora OR. Táto situácia nastala v prípade, ak simulátor prijal viacero správ súčasne. OR následne nevedel vhodným spôsobom rozlíšiť a spracovať jednotlivé správy. Pridaním špeciálneho znaku na koniec každej správy odoslanej z aplikácie TS2JavaConn sme zabezpečili, že simulátor vedel jednoduchšie rozdeliť správy na základe pridaného znaku. Táto úprava úspešne odstránila vyššie spomenutý problém.

Jedným z rozšírení súčasnej verzie simulátora Open Rails bolo pridanie možnosti výberu spôsobu riadenia vlaku. Po spustení aplikácie si používateľ vedel vybrať jeden z troch spôsobov ovládania. Prvým spôsobom je manuálne riadenie, čo dovoľuje ovládať vlak pomocou grafického rozhrania aplikácie bez akejkoľvek intervencie zo strany riadiaceho modulu. Druhým spôsobom je automatické riadenie simulátorom Open Rails. Pri tomto spôsobe riadenia vlak automaticky zastavuje pred čerým semaforom a čaká kým sa stav semafora zmení. Taktiež vlak zastaví pri vstupe do stanice a počká na dokončenie nástupu. Posledným, tretím, spôsobom riadenia je využitie riadiaceho modulu na ovládanie pohybu vlaku. V prípade, ak riadiaci modul nezastaví vlak pred červeným semaforom, vlak sám nezastaví a pokračuje ďalej. Tento spôsob ovládania tiež dovoľuje nastavovať vlaku rôznu rýchlosť pre jednotlivé sekcie trate. Ďalším rozšírením bolo pridanie druhej inicializácie, ktorá oboznámi aplikáciu TS2JavaConn so súčasnou polohou všetkých načítaných vlakov. Pred touto úpravou riadiaci modul nepoznal štartovaciu pozíciu vlakov, až kým vlak nevstúpil do ďalšej sekcie. Táto úprava dovoľuje presnejšie ovládanie všetkých elementov trate hneď po počiatkovej inicializácii.

Bolo taktiež vyriešených niekoľko ďalších problémov súvisiacich s upravenou verziou OR. Jednalo sa o úpravu problematických názvov elementov, ktoré aplikácia TS2JavaConn nevedela spracovať z dôvodu výskytu špeciálnych znakov, a niekoľko menších problémov spôsobujúcich zlyhanie programu alebo nekorektné správanie sa vlakov.

Migrácia súčasnej verzie simulátora Open Rails (1.1) na novšiu verziu (1.3.1) je tiež jednou zo zmien, ktoré boli vykonané. Táto aktualizácia nebola nutná v prípade použitia riešenia len na interné účely, avšak opravené chyby v novšej verzii uľahčujú zverejnenie a budúce použitie platformy OR/TS2JC. Po nájdení presných rozdielov vo verziách simulátora Open Rails boli vykonané zmeny dovoľujúce prechod na novšiu verziu. Po otestovaní novšej verzie neboli odhalené žiadne chyby.

##### B. TS2JavaConn

TS2JavaConn predstavuje spojovací článok medzi simulátorom OR a riadiacim modulom. Aplikácia obsahuje komponent generátora, ktorý bol navrhnutý na vytvorenie základnej kostry riadiaceho modulu pre jazyky Java, Perfect a B-metódu. Vygenerovaná kostra modulu môže obsahovať údaje elementov načítaných zo simulátora. V súčasnej verzii aplikácie bolo možné generovať len prázdne metódy (operácie), bez čo i len najjednoduchšej implementácie. Vo vygenerovanej kostre taktiež chýbali novo pridané metódy slúžiace na lepšiu manipuláciu s rýchlosťou vlaku a obsahovala drobné chyby v príslušnom konfiguračnom súbore. Po vykonaných úpravách boli chyby odstránené a do jazyka Java je možné generovať úplný modul so všetkými potrebnými metódami, implementujúcimi jednoduchú logiku riadenia.

Súčasťou ďalších úprav bola zmena internej reprezentácie mena vlaku. Pôvodne riadiaci modul nebral do úvahy celý názov vlaku, ktorý aplikácia dostala od simulátora. Interný názov elementu sa

vytvoril zo staticky zadaného názvu Train, ktorý bol doplnený o index vlaku extrahovaného z prijatej správy. Pri tejto úprave bolo pridané rozpoznanie nezadaného vlaku, ktorý sa nenachádzal v zoznamoch riadiaceho modulu ale bol odoslaný simulátorom.

Zásadný problém predstavovalo zamrznutie grafickej časti aplikácie pri načítavaní riadiaceho modulu. Tento problém bol spôsobený načítaním modulu v tom istom vlákne, v ktorom prebiehalo vykresľovanie aplikácie. Nakoľko načítavanie modulu môže pri rozsiahlejších mapách trvať desiatky sekúnd, táto chyba predstavovala zásadné obmedzenie pri používaní aplikácie. Tento problém sme odstránili pridaním samostatného vlákna, ktoré sa spustí pri načítavaní, čím sa zabezpečí asynchrónne spracovanie.

Popri jednotlivých rozšíreniach sme pridalí podporu názvov vlakov pre metódy riadiaceho modulu, ako aj typov návratovej hodnoty určitých metód. Tieto rozšírenia umožňujú vytvoriť komplexnejšiu logiku riadiaceho modulu.

Počas výsledného testovania sa vyskytla chyba, pri ktorej došlo k spojeniu viacerých správ odoslaných z aplikácie TS2JavaConn simulátoru Open Rails. Rozšírili sme preto vytváranie správ v aplikácii o špeciálny znak, ktorý slúži na jednoznačné oddelenie jednotlivých správ.

## V. ZÁVER

Vykonané testovanie preukázalo, že týmto prístupom je možné validovať riadiaci modul vo virtuálnom prostredí s využitím rôznych spôsobov ovládania vlakov. Upravená platforma OR/TS2JC je po vykonaných zmenách stabilnejšia, umožňuje lepšie ovládanie elementov virtuálneho prostredia a poskytuje ideálne prostredie pre validáciu riadiacich modulov. Testovanie preukázalo, že je možné transformovať riadiaci modul vytvorený v B metóde do jazyka Java a následne ho bez ďalších úprav použiť priamo v platforme. V priebehu ďalšieho riešenia tejto problematiky bude potrebné sa zamerať na podrobnejšie formálne overenie riadiaceho modulu, ktorý bude následne verifikovaný v platforme OR/TS2JC.

## PODAKOVANIE

Táto práca bola podporená APVV grantom č. SK-AT-2017-0012, "Sémantické technológie pre výučbu informatiky".

## LITERATÚRA

- [1] J. C. Knight, "Safety critical systems: challenges and directions," in *Software Engineering, 2002. ICSE 2002. Proceedings of the 24rd International Conference on*. IEEE, 2002, pp. 547–550.
- [2] T. Lecomte, T. Servat, and G. Pouzancre, "Formal methods in safety-critical railway systems," 08 2007.
- [3] N. Li, M. Zhang, Y. Yildiz, I. Kolmanovsky, and A. Girard, *Game theory-based traffic modeling for calibration of automated driving algorithms*, ser. Lecture Notes in Control and Information Sciences, 2019, vol. 476.
- [4] A. K. Jägerbrand, H. Antonson, and C. Ahlström, "Speed reduction effects over distance of animal-vehicle collision countermeasures – a driving simulator study," *European Transport Research Review*, vol. 10, no. 2, 2018.
- [5] J.-R. Abrial, *The B-book: assigning programs to meanings*. Cambridge University Press, 2005.
- [6] Š. Korečko and M. Dancák, "Some aspects of bkpi b language compiler design," *Egyptian Computer Science Journal*, vol. 35, no. 3, pp. 33–43, 2011.
- [7] Š. Korečko and B. Sobota, "Computer games as virtual environments for safety-critical software validation," *Journal of Information and Organizational Sciences*, vol. 41, no. 2, pp. 197–212, 2017.



# Návrh sémantického modelu pre procesy dolovania v dátach

<sup>1</sup>Juliana IVANČÁKOVÁ, <sup>2</sup>Peter BUTKA, <sup>3</sup>Peter BEDNÁR

<sup>1,2,3</sup> Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, FEI, Technická univerzita v Košiciach,  
Letná 9, 042 00 Košice, Slovenská Republika

<sup>1</sup>juliana.ivancakova@tuke.sk, <sup>2</sup>peter.butka@tuke.sk, <sup>3</sup>peter.bednar@tuke.sk

**Abstrakt** — Je dôležité zamyslieť sa nad otázkou: Prečo sú v dnešnom svete také dôležité procesy získavania znalostí. Dolovanie v dátach je proces, ktorý umožňuje zbierať, analyzovať a vyhodnocovať dáta. Každý deň sa produkuje veľké množstvo dát na svete. A využívanie procesu dolovania v dátach rastie každým dňom. Zdroje údajov môžeme nájsť všade (zdravotníctvo, priemysel 4.0, internet vecí, elektronický obchod, astronómia, geografia, ...). Pomocou metodiky CRISP-DM je možné porozumieť problematike, porozumieť a pripraviť dáta pomocou rôznych metód deskriptívnej a prediktívnej analýzy dát, vyhodnotiť a interpretovať výsledky analýzy dát. Tento článok je zameraný na popis procesu objavovania znalostí, znalostných technológií (sémantické siete, ontológie, RDF Schéma a OWL) a ontológií pre popis procesov dolovania v dátach, ktoré budú poskytovať základné koncepty pre vytvorenie sémantického modelu. Tento model by mal slúžiť na zjednodušenie komunikácie medzi dátovým analytikom a doménovým expertom a na automatické generovanie skriptov v prostredí R/Python.

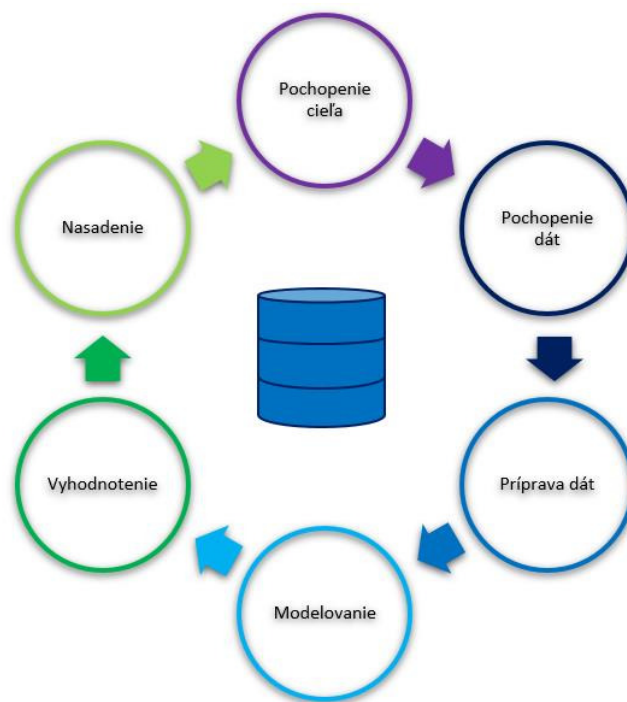
**Kľúčové slová** — CRISP-DM, dátový analytik, doménový expert, OntoDM, ontológia, sémantický model

## I. ÚVOD

V úvode sa pozrieme na aktuálne problémy procesov získavania poznatkov, že ich máme všetky identifikované, no pre nás sú najrelevantnejšie 2, ktoré spolu súvisia. Prvý problém je zameraný na potreby procesov objavovania znalostí. Všetky procesy vyžadujú nepretržitú a intenzívnu komunikáciu medzi dátovým analytikom a doménovým expertom. Dátový analytik potrebuje pochopiť doménu oblasti, ktorej sa bude venovať, existujúce vzťahy v nej, a tiež aj dáta, ktoré je potrebné analyzovať. Na druhej strane je doménový expert, ktorý musí po analýze dát pochopiť výsledky danej analýzy a správne ich interpretovať. V súčasnosti nie je táto komunikácia dostatočne opísaná, čo ovplyvňuje aj efektívnosť procesov a niekedy spôsobuje zbytočnú zdĺhavú komunikáciu medzi nimi. Druhým problémom je fakt, že veľa úloh, ktoré dátový analytik rieši si vyžaduje opakujúce sa písanie skriptov, ktoré majú rovnaký základ, a preto by ich bolo možné zautomatizovať, čím by sa v týchto procesoch ušetril nielen čas, ale z biznis pohľadu aj peniaze.

## II. DOLOVANIE V DÁTACH

Dolovanie v dátach (data mining) [1] je dnes jedným z najrýchlejšie rastúcich segmentov v rámci „business intelligence“. Zo štatistického hľadiska ide o skúmanie vzťahov alebo vzorov v údajoch. Ide o analýzu závislosti údajov, identifikáciu trendov a ak to typ údajov umožňuje, tak aj predpovedať budúci vývoj. Dolovanie v dátach nie je len privilegiom pre veľké spoločnosti, ale ako ukazuje prax, tieto procesy majú relatívne veľký potenciál v menších firmách, výskumných ústavoch, medicíne atď. Proces dolovania dát [2][3] je iteratívny a interaktívny; získané znalosti musia byť platné, doposiaľ neznáme a potenciálne užitočné. Tento proces je tiež multidisciplinárny, čo znamená, že komunikuje a využíva metódy a prístupy z iných vedeckých disciplín, ako sú štatistiky, databázové systémy, umelá inteligencia, strojové učenie, vizualizácia dát atď.

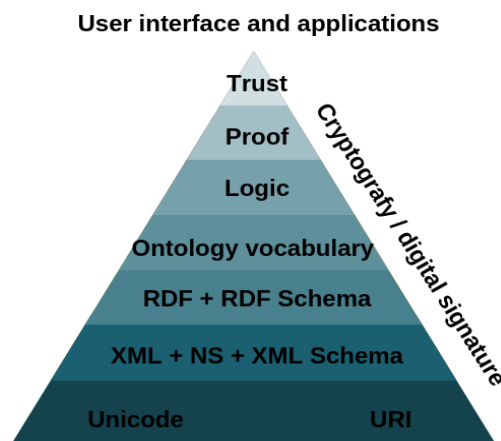


Obr. 1 Fázy metodológie CRISP-DM

Metodika CRISP-DM (CRoss Industry Standard Process for Data Mining) je v súčasnosti najrozšírenejším prístupom na implementáciu procesu dolovania v dátach. Cieľom je poskytnúť prehľad o životnom cykle analytického projektu, čím sa zjednoduší jeho pochopenie. Je založený na praktických skúsenostiach a pozostáva zo šiestich hlavných fáz - pochopenie cieľov, porozumenie dát, príprava dát, modelovanie, vyhodnotenie a nasadenie.

### III. ZNALOSTNÉ TECHNOLOGIE

Ak chceme reprezentovať informácie prirodzeným jazykom, môže sa stať, že tento popis nebude jednoznačný a nebude strojovo čitateľný, teda nebude možné ho štruktúrovane spracovať. Takýto problém možno vyriešiť pomocou sémantických technológií, ktoré dokážu strojovo interpretovať reprezentácie poznatkov. Medzi tieto technológie patria napríklad sémantické siete a ontológie. Väčšina sémantických technológií vznikla v kontexte sémantického webu, ktorý slúži na výmenu informácií na webe najmä vo forme HTML stránok. Architektúra sémantického webu je reprezentovaná vrstvenou štruktúrou, ktorá ukazuje, ako sú vrstvy na sebe závislé. Na Obr. 2 je možné vidieť v spodnej časti tie technológie, ktoré umožňujú zapisovať / definovať syntax (UNICODE), ktorá kóduje text; URI, ktorý jedinečne identifikuje objekt. Jazyk XML, ktorý zabezpečuje prehľadnú štruktúru. RDF a ontológie (ontology vocabulary) reprezentujú znalosti na sémantickej úrovni tak, aby boli priamo strojovo spracovateľné, a nad touto reprezentáciou sú vytvorené vyššie služby ako automatické dokazovanie a odvodzovanie a zabezpečenie dôvery informácií prostredníctvom elektronického podpisu.



Obr. 2 Architektúra sémantického webu

### A. Sémantické siete

Jednou z reprezentácií poznatkov sú už spomínané sémantické siete, ktoré sa vyznačujú tým, že v grafickom znázornení sú objekty reprezentované ako uzly a hrany v grafe predstavujú vzťahy medzi týmito objektmi. RDF sa používa ako formalizmus na znázornenie takýchto grafov. Pojmy sa v RDF označujú ako tzv. zdroje jednoznačne označené pomocou URI. RDF tiež umožňuje definovať anonymné prostriedky, pre ktoré je URI generované – odkazujú sa len v rámci jedného RDF súboru, ten má jedinečný URI - neznámy uzol. Hodnoty údajov môžu mať rôzne typy hodnôt (napríklad čísla, boolean hodnoty, dátumy, typ reťazca, ...). Tieto typy sú definované v XML. Celý graf možno zapísať ako množinu tripletov - triplet = subjekt - predikát - objekt, v smere šípky. Objekt môže byť dátová hodnota alebo zdroj, ale subjektom musí byť zdroj. Takže uzly predstavujú zdroje a hodnoty údajov a hrany predstavujú ich vlastnosti. Nad RDF je SPARQL - dopytovací jazyk, ktorý umožňuje vyhľadávať fakty o subjektoch reprezentovaných v RDF.

### B. Ontológia

Pojem ontológia sa chápe rôznymi spôsobmi. Ontológia [4] sa používa vo filozofii už mnoho storočí. Naopak, pojem ontológie v oblasti informatiky je mladší. Ontológia je znalostný model využívajúci triedy a inštancie. Jedna entita môže byť inštanciou viacerých tried. Môžu byť organizované do hierarchií od všeobecnejších až po špecifickejšie triedy. Triedy predpisujú pre svoje prípady, aké vlastnosti údajov a aké vzťahy môžu mať s inými entitami. Okrem špecifikovania konceptualizácie (usporiadanie konceptov do vzťahov a formálneho zápisu pre interpretovateľnosť strojov), ontológie umožňujú automatické odvodenie faktov o entitách.

### C. RDF Schéma, OWL

Medzi základné jazyky pre opis ontológií patria RDFS a OWL. RDFS definuje základné prvky, ako napríklad triedy, vlastnosti a inštancie. OWL [9] rozširuje definíciu tried a vlastností o ďalšie hranice, OWL je rozdelený do 3 pod-jazykov. Každý z týchto jazykov pridáva viac možností na reprezentáciu vedomostí (modelovanie), ale na druhej strane je metóda odvodenia zložitejšia. Výpočtovo komplikovanejšie odvádzanie, FULL poskytuje veľa možností, ale zložitost' odvodzovania je náročnejšia.

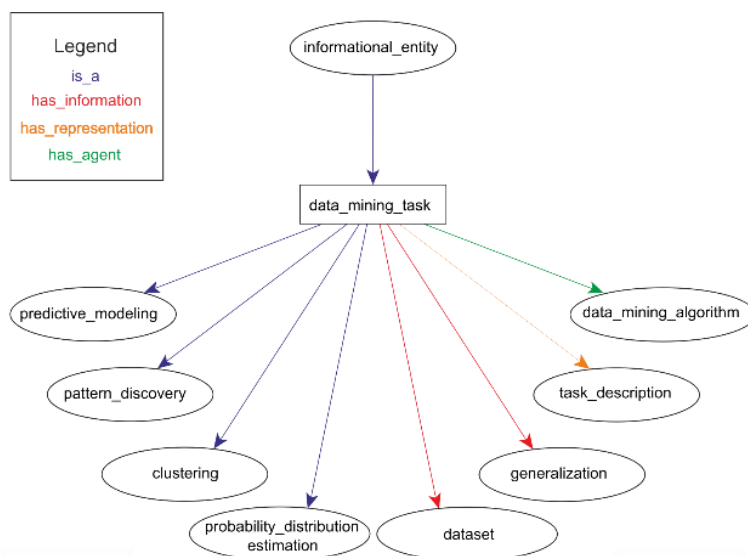
### D. Typy ontológií

V našom sémantickom modeli vychádzame z už existujúcich ontológií. OBI [7] je ontológia pre opis medicínskych procesov. EXPO [5] sa pokúša definovať hlavné entity potrebné na reprezentáciu vedeckých experimentov. Zahŕňa všeobecné znalosti vedeckého experimentálneho dizajnu, metodiky a reprezentácie výsledkov. LABORS ontológia je rozšírením EXPO. Teda ontológie pre popis vedeckých experimentov rozširujú definíciu problému analýzy, ale zvyčajne sú orientované na jednu konkrétnu doménu, napr. oblasť medicíny, a nie je jednoduché ich zovšeobecniť pre ďalšie domény. Súčasnú ontológiu pre popis procesu dolovania znalostí ako napr. OntoDM, sa zameriavajú na popis metód a ich nastavení, pričom sa nevenujú formalizovaniu samotného cieľa dolovania dát a nedefinujú prepojenie na doménové koncepty popisujúce známe znalosti o riešení problému a dátach.

#### 1) Hlavné koncepty OntoDM

Ontológia OntoDM je založená na návrhu všeobecného rámca pre dolovanie v dátach. Z tohto návrhu bol identifikovaný súbor základných prvkov dolovania v dátach [4]:

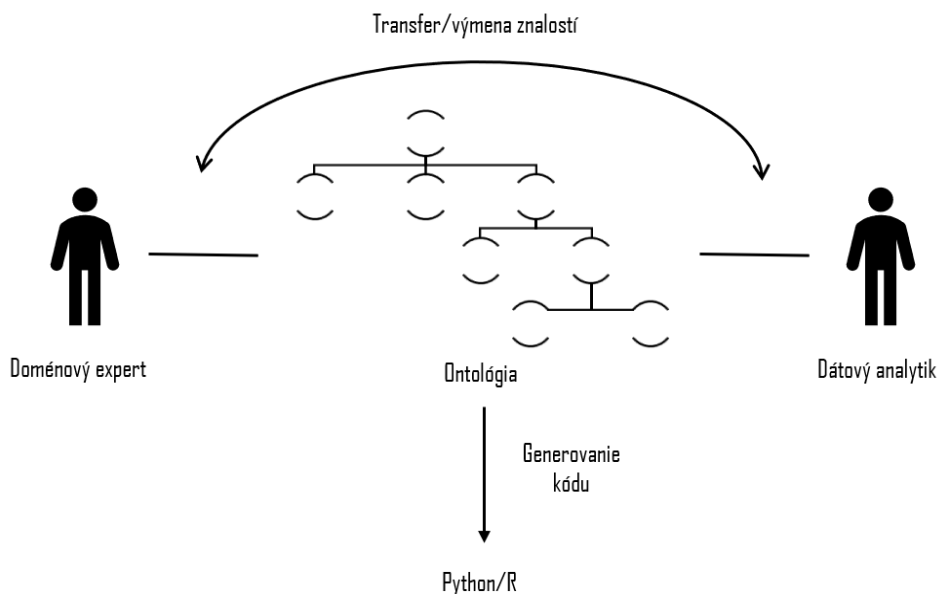
- *dataset* - pozostáva z údajových položiek;
- *datatype* - môže byť primitívny alebo štruktúrovaný;
- *data mining task* - zahŕňa prediktívne modelovanie, model, prieskum, klastrovanie a rozdelenie pravdepodobnosti;
- *generalization* - výstup algoritmu dolovania dát (prediktívny model, vzor, klastrovanie, rozdelenie pravdepodobnosti);
- *data mining algorithm* - rieši úlohu dolovania údajov a generuje zhrnutia z množiny údajov a obsahuje komponenty algoritmov;
- *function* - funkcia agregácie, funkcia prototypu, vyhodnocovacia funkcia, nákladová funkcia atď. ;
- *constraint* - zahŕňajú hodnotenie a jazykové obmedzenia;
- *data mining scenarios* - týkajúce sa otázok a induktívnych problémov.



Obr. 3 Čiastočne namapovaná OntoDM

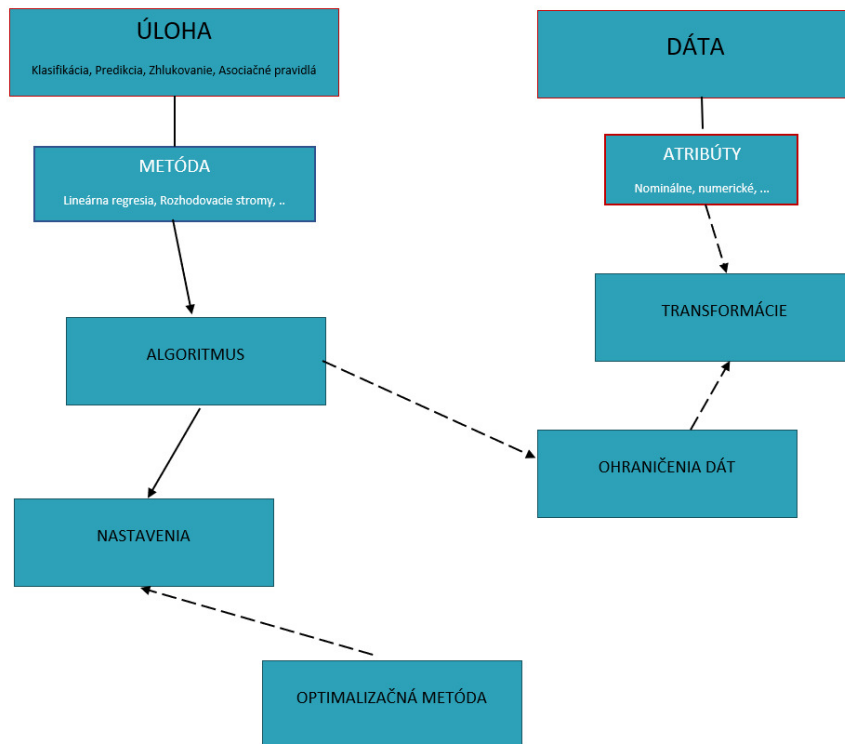
#### IV. NAVRHOVANÉ RIEŠENIE

Je veľmi dôležité, aby vo fáze pochopenia problému a vo fáze pochopenia dát bola jasná komunikácia medzi doménovým expertom a dátovým analytikom, resp. pri interpretovaní výsledkov vo fáze validácie nie je zvyčajne úplne externalizovaná a formalizovaná, čo znemožňuje efektívnu komunikáciu, zdieľanie a znovupoužiteľnosť komunikovaných znalostí.



Obr. 4 Sémantický model

Navrhovaný sémantický model (Obr. 4) by mal pozostávať z ontológií pre opis vedeckých výskumov, údajov zozbieraných počas výskumov, rôznych metód na analýzu údajov a pre opis výsledkov analýzy údajov, ktoré mapujú výsledky na koncepty špecifickej domény. Navrhnutý znalostný model má slúžiť na zjednodušenie/zlepšenie komunikácie medzi dátovým analytikom a doménovým expertom, umožniť im efektívne zdieľanie a znovu-použiteľnosť znalostí a zároveň zabezpečiť reprodukovateľnosť dátovo analytickým. Taktiež bude slúžiť na podporu automatizácie dátovo – analytických procesov, tak že bude umožňovať generovanie skriptov predspracovania, modelovania a vyhodnotenia výsledkov dátovej analýzy. dáta a atribúty a potom sa z vlastností ontológie odvodí aký algoritmus sa použije pri modelovaní a aké transformácie budú vykonané pri predspracovaní dát a ako budú optimalizované parametre.



Obr. 5 Navrhované riešenie – ontológia

Schéma navrhovanej ontológie (Obr. 5) vychádza z ontológie OntoDM, ktorá poskytuje základné koncepty pre popis množín a dátových konceptov. Ontológia bude rozšírená o vzťahy, ktoré umožnia automatiky odvodiť zo zadanej úlohy procesov objavovania znalostí a popisu vstupných dát, ktoré algoritmy sú vhodné na riešenie úlohy a aké operácie je potrebné vykonať nad dátami. Taktiež bude rozšírená o metamodel, ktorý bude popisovať doménové koncepty. Teda, dátový analytik zadá iba úlohu,

#### POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore APVV SK-AT-2017-0021 a VEGA SR 1/0493/16.

#### REFERENCIE

- [1] A. TRNKA: Využitie dolovania dát v zdravotníctve. In: Slovak Journal of Health Sciences. Roč. 2010, č. 1-2, s. 19-24. ISSN 1338-161X
- [2] D. LAROSE: Discovering Knowledge in Data: An Introduction to Data Mining, John Wiley, 2005, 222 s. ISBN 0-471-66657-2
- [3] Data Mining: What it is and why it matters, online, [cit. 2019-03-22]. Online: <[https://www.sas.com/en\\_us/insights/analytics/data-mining.html#dmhistory](https://www.sas.com/en_us/insights/analytics/data-mining.html#dmhistory)>
- [4] P. PANOVA, L.N. SOLDATOVA, S. DŽEROSKI, Towards an Ontology of Data Mining Investigations. In: Gama J., 2009.
- [5] L.N. SOLDATOVA and R.D. KING, An ontology of scientific experiments. Journal of The Royal Society Interface 3, 795–803, 2006.
- [6] D. SCHOBBER, W. KUSNIERCZYK, S.E. LEWIS, J. LOMAX: Towards naming conventions for use in controlled vocabulary and ontology engineering. In: Proceedings of BioOntologies SIG, ISMB 2007, pp. 29.
- [7] B. SMITH, W. CEUSTERS, B. KLAGGES, J. KÖHLER, A. KUMAR, J. LOMAX, C. MUNGALL, F. NEUHAUS, A.L. RECTOR and C. ROSSE, Relations in biomedical ontologies. Genome Biology 6, r46., 2005.
- [8] R.D. KING, et al.: The Automation of Science. Science 324(5923), 85–89, 2009.
- [9] ANTONIOU, G., VAN HARMELEN F., Web Ontology Language: OWL, online, [cit. 2019-03-22]. Online: <<https://www.math.vu.nl/~frankh/postscript/OntoHandbook03OWL.pdf>>

# Teória hier pre bezdrôtové siete

<sup>1</sup>*Dominik NEZNÍK*, <sup>2</sup>*Lubomír DOBOŠ*

<sup>1,2</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

**Abstract** – Článok popisuje možnosť využiť teóriu hier ako možnej metódy na pridelenie komunikačných kanálov. Rozdeľovanie a najmä rozhodovanie o ich pridelení je hlavným procesom pri komunikácii, ktorá má byť efektívna a najmä rýchla. Využitie tejto metódy je možný pre rôzny typ bezdrôtovej siete medzi ne patria senzorové siete, MANET, 5G siete, alebo aj siete štandardu 802.11. Hlavný dôraz sa v článku kladie na rozdelenie jednotlivých hier ako aj ich spolupráca pre čo najefektívnejšie prerozdelenie. Rozhodovanie vychádza z informácií, ktoré zariadenie získa z rádiového dosahu a prenosu riadiacich informácií od ostatných zariadení v rádiovom dosahu. Výber komunikačného kanála ovplyvňuje rýchlosť a kvalitu spojenia pri prenose dát. Proces výberu kanálov a uzlov je dôležitý nielen v 5G technológii, ale rovnako aj v komunikačných technológiách, ktoré ešte len prídu.

**Keywords** – bezdrôtové siete, teória hier, pridelenie kanálov, senzorové siete.

## I. ÚVOD

Senzorové siete, viacvrstvové siete rovnako ako ľubovoľný typ bezdrôtového pripojenia potrebuje komunikovať medzi jednotlivými zariadeniami. Komunikácia súvisí s frekvenciou komunikačného kanálu. Správa kanálov v sieti súvisí so snímaním spektra [1]. Teda každý typ komunikácie v sieťach súvisí s výberom správneho kanálu. Nakoľko nie je veľmi efektívne, aby výber kanála prebiehal len náhodným pridelením z dostupných kanálov. Štúdiá ohľadom riadenia a prerozdelenia týchto dostupných kanálov je preto potrebná a pomerne dôležitá v dnešnej dobe plnej zariadení pripojených na internet. Výskum tejto oblasti sa zaoberá otázkami, ako môže byť zvolený čo najvhodnejší kanál a rovnako aj ako zvoliť tento kanál čo najrýchlejšie. Táto éra je o sieťovom pripojení, ako aj o používaní inteligentných zariadení. Dnes používame technológiu 4G v mestách, ale postupne sa bude zavádzať nová generácia komunikácie, ktorou bude 5G technológia. Táto technológia už je implementovaná v niektorých mestách, kde sa testuje jej prevádzka. Riadenie rádiových zdrojov je možné využívať v rôznych oblastiach bezdrôtovej komunikácie. Jednou z vhodných oblastí využitia je pri prírodných katastrofách a použitie dronov ako zariadenie na zbieranie a posielanie dát ďalej do siete, v ktorej je zničená infraštruktúra. Jednotlivé senzory môžu merať tlak, teplotu, vlhkosť alebo mnoho ďalších parametrov. Drony môžu pomôcť pri komunikácii, kde sa nenachádza žiadna základňová stanica. No aj tieto zariadenia si musia vybrať správny kanál na základe snímania spektra a údajov zo zariadení v rádiovom dosahu.

## II. TEÓRIA HIER

Teória hier bola ako metóda navrhnutá pre ekonomický a sociálny výskum, ale môže byť aplikovaná aj v prostredí bezdrôtovej komunikácie. Len v posledných rokoch výskumníci bezdrôtovej komunikácie hľadali nové (inteligentné) metódy zlepšenia hlavne v smerovaní (výber uzlov), rýchlosti prenosu dát medzi rôznymi typmi technológií alebo tiež pri výbere kanálov pri smerovaní. Metóda môže byť definovaná ako štúdium matematických modelov konfliktu a spolupráce medzi inteligentnými racionálnymi rozhodovacími orgánmi. Teória hier poskytuje všeobecné matematické techniky na analýzu situácií, v ktorých sa dvaja alebo viacerí hráči rozhodujú a ovplyvňujú iných hráčov [5]. Existuje mnoho typov sietí, ako sú kognitívne rádiové siete, mobilné ad-hoc siete, senzorové siete, inteligentné siete, ktoré sa skladajú z rôznych typov komunikačných technológií. Všetky tieto siete majú rovnaký

hlavný problém, ktorým je spôsob distribúcie kanálov (frekvencia) s čo najmenšou hodnotou interferencie. Rovnako ako v každej metóde, aj v tejto metóde je potrebné nastaviť vstupné parametre pre spustenie algoritmu. Vstupné parametre sú prioritné parametre a definujú kvalitu služieb na každom kanáli. Existuje mnoho rôznych typov hier, ktoré možno použiť, ako aj informácie, ktoré zlepšujú výber kanálov a sú dostupné zo zariadení v sieti. Ďalším problémom je spolupráca v taktike hry (výber kanálov). Ak chcú zariadenia navzájom spolupracovať na zlepšovaní kvality vytvorenej siete, je takto možné dosiahnuť čo najlepšiu kvalitu komunikácie v sieti. Zlepšenie sieťovej komunikácie by malo byť skôr cieľom pri komunikácii medzi dvoma zariadeniami. Hlavným cieľom je distribuovať kanály pre každé zariadenie v sieti s čo najmenším rušením. Ak sa použije táto metóda, typ hry bude podobný hre s dvoma väzňami. Hlavným cieľom by nemala byť snaha oslobodiť sa, ale dosiahnuť dohodu dostatočnú pre oboch väzňov.

Teória hier pozostáva z hráčov a stratégií na zlepšenie pravdepodobnosti výhry v hre. V sieti uvažujeme o zariadeniach ako o hráčoch. Účelom hry bude vybrať najlepšie dostupné kanály s najmenším rušením do iných uzlov s ich výberom. Stratégia hry bude ovplyvnená úrovňou výkonu, prenosovou rýchlosťou, smerovacími uzlami, bitovým chybovým pomerom, spotrebou prenosového výkonu, vysielacím časom. Pri používaní hier v bezdrôtových sieťach je potrebné brať do úvahy parametre ako je prenosová rýchlosť, priepustnosť komunikačného kanála, spotreba energie pre prenos a tiež kvalita služby, čo je veľmi dôležitý parameter. Okrem týchto základných parametrov je potrebné použiť teóriu hier, aby sa zohľadnila rovnováha pri prerozdelení jednotlivých kanálov. Nie je možné, že niektoré zariadenia budú výhodnejšie ako ostatné zariadenia v bezdrôtových sieťach, kde sú zariadenia ekvivalentné. Rozlišovanie a uprednostňovanie zariadení je možné, ak budeme mať scenár pozostávajúci z primárnych a sekundárnych zariadení v kognitívnych rádiových sieťach. Tento scenár má hierarchiu, kde má primárne zariadenie vyššie právo na prístup k prenosovému médiu oproti sekundárnemu zariadeniu, ktoré môže využívať daný kanál, iba ak nie je prítomný primárny používateľ [2], [3], [4].

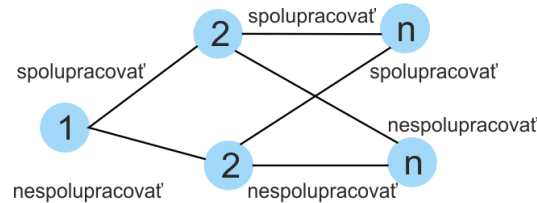
Teória hier je rozdelená do dvoch hlavných kategórií a to spolupracovať alebo nespolu- pracovať medzi hráčmi. Jednotlivé formy hier možno rozdeliť na:

- symetrické a asymetrické,
- konštantný súčet úhrnu, nulový súčet úhrnu, nenulový súčet,
- simultánny ťah a postupný ťah,
- normálna a rozšírená forma.

Hry so spoluprácou sú tie, v ktorých sú hráči presvedčení o prijatí konkrétnej stratégie prostredníctvom rokovaní a dohôd medzi hráčmi. Hlavným cieľom je zlepšenie kvality komunikácie v sieti ako jednej komunity. Hra, kde hráč nespolu- pracuje, predstavuje typ hry, keď hráč chce zlepšiť kvalitu len pre seba a nepozera sa na ostatných. Je to sebecká stratégia a nie je vhodná na zlepšenie kvality siete ako jednej bunky. Symetrické hry, stratégie prijaté všetkými hráčmi sú rovnaké. Symetria môže existovať len v krátkodobých hrách, pretože v dlhodobých hrách sa zvyšuje počet možností hráčov. Dilema väzňa je príkladom symetrickej hry. Asymetrické hry sú tie, v ktorých sú stratégie prijaté hráčmi odlišné. V asymetrických hrách stratégia, ktorá poskytuje výhodu jednému hráčovi, nemusí byť rovnako výhodná pre iného hráča. Hra s konštantným súčtom úhrnu je tá hra, v ktorej súčet výsledkov všetkých hráčov zostáva konštantný, aj keď sú výsledky odlišné. Hra s nulovým súčtom je typ hry s konštantným súčtom úhrnu, v ktorej súčet výsledkov všetkých hráčov je nula. V hre s nulovým súčtom nemôžu stratégie rôznych hráčov ovplyvniť dostupné zdroje. Simultánne hry sú tie, v ktorých je pohyb dvoch hráčov (stratégia dvoch hráčov) simultánna. Sekvenčné hry sú hry, v ktorých hráči nemajú hlboké vedomosti o stratégiách ostatných hráčov. Normálna forma sa vzťahuje na popis hry vo forme matice, kde výhodnosť a stratégie hier sú reprezentované v tabulkovej forme. Rozšírené formy hier sú tie, v ktorých sa popis hry vykonáva vo forme rozhodovacieho stromu. Každý typ hry má výhody ako aj nevýhody. Priorita výberu kanálu je rýchlosť (čas pre výpočet), pretože mobilné zariadenia sa môžu pohybovať. Hráči sa snažia zlepšiť svoju stratégiu a tiež vzájomnú spoluprácu výber kanála [5]. Na Obr. 1 sú zobrazené dva typy vzájomnej spolupráce. Podľa typu spolupráce môžu zariadenia posielať a prijímať informácie k ostatnými zariadeniam. Keď hráč spolupracuje na zdieľaní informácií s ostatnými, podieľa sa na zlepšovaní kvality siete. Tento proces môže zlepšiť stratégiu hráčov v hre. Opačná situácia, keď hráč nespolu- pracuje, znamená to žiadne informácie sa neposielaajú a teda nedochádza k zdieľaniu informácií zo snímania spektra daného zariadenia.

Stratégia hráčov závisí od informácii, ktoré má hráč. Na základe informácií od iných hráčov môže reagovať a robiť jednotlivé ťahy a tiež zlepšiť šancu na výhru v danej hre. Keď sa hráč rozhodne nespolu- pracovať, zhoršuje sa možné zlepšenie prerozdelenia dostupných





Obr. 1 Hráči a ich možnosti výberu spolupráce k ostatným hráčom.

Tabuľka 1  
 Dilema väzňa a výhodnosť jednotlivých ťahov

|               | Spolupracovať             | Zradiť                    |
|---------------|---------------------------|---------------------------|
| Spolupracovať | zisk / zisk               | veľký zisk / veľká strata |
| Zradiť        | veľký zisk / veľká strata | strata / strata           |

rádiových zdrojov. V Tab. 1 vidíme výstup každého typu spolupráce medzi zariadeniami. Najlepšou možnosťou je, keď dvaja hráči navzájom spolupracujú. Znamená to, že zdieľajú informácie získané zo snímania spektra v sieti. Keď sa pozrieme do tejto tabuľky, najhorším scenárom je nespolupracovať a najlepším scenárom je spolupráca oboch väzňov. Stratégia hráča v typickej hre je vyhrať hru. Metóda založená na hre musí urobiť kompromisy na zlepšenie smerovania siete. Hráč môže zdieľať informácie, ale ak iný hráč nechce zdieľanie informácie, nedochádza k zlepšeniu pridelovania kanálov. Hráč, ktorý zdieľal informácie, nemá žiadne zlepšenie. Oproti tomu ak hráč nespolupracuje, vie získať iba tento hráč a ostatní hráči nezískajú žiadne informácie a nedochádza k zlepšeniu siete [2].

Dokonalá informácia je dôležitým pojmom v teórii hier, keď uvažujeme o sekvenčných a simultánných hrách. Je to kľúčová koncepcia, keď analyzujeme možnosť stratégií trestania v dohodách o tajných dohodách. Perfektné informácie sa týkajú skutočnosti, že každý hráč má rovnaké informácie a bude k dispozícii na konci hry. To znamená, že každý hráč pozná, alebo môže vidieť ťahy iných hráčov. Dobrým príkladom by boli šachy, kde každý hráč vidí figúrky ostatných hráčov na palube. Nedokonalé informácie sa objavujú, keď sa hráči musia rozhodnúť súčasne a jednotliví hráči musia pri rozhodovaní uvažovať o všetkých možných výsledkoch. Dobrým príkladom nedokonalých informačných hier je kartová hra, kde sú karty ostatných hráčov skryté [6]. Zobrazenie hry v normálnej forme zahŕňa všetky vnímateľné a mysliteľné stratégie a ich zodpovedajúce výnosy (pay-off) pre každého hráča. Rozšírená forma hry nie je opísaná herným stromom. Je to jednoducho diagram, ktorý ukazuje voľby vykonané v rôznych časových okamihoch (zodpovedajúce každému uzlu). Výnosy sú znázornené na konci každej vetvy. Keďže rozšírená forma predstavuje rozhodnutia v rôznych okamihoch, zvyčajne sa používa na opis sekvenčných hier, zatiaľ čo simultánne hry sa opisujú pomocou strategickej formy. Keďže sekvenčné hry znamenajú rozhodovanie v rôznych okamihoch pre každého hráča, informácie sú dokonalé (perfekt), pretože každý hráč vidí rozhodnutie predchádzajúceho hráča. Pravidlá hry a výnosy každého hráča sú všeobecne známe [7].

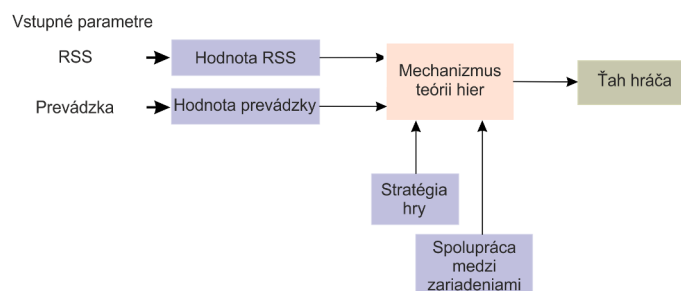
### III. METÓDA POUŽÍVANÁ V EKONOMIKE ALE AJ PRI BEZDRÔTOVEJ KOMUNIKÁCI

Teória hier funguje nezávisle na každom zariadení rovnako ako fázy logika. Metóda ako hra musí monitorovať prostredie okolo zariadenia ako sú susedia a ich rozhodnutie o výbere kanálov. Každé zariadenie zdieľa informácie s ostatnými susedmi, čím zvyšuje efektívnu distribúciu. V našom scenári existuje mnoho typov hier, ale rozhodli sme sa simulovať scenár so vzájomnou spolupracou každého zariadenia v sieti. Fázy logika funguje ako metóda hodnotenia, na druhej strane teória hier funguje ako metóda, ktorá priamo vyberá kanál založený na stratégii. Fázy logika hodnotí každý kanál a môžeme sa rozhodnúť, ktorý z nich vyberieme. Hra závisí od stratégie, ako každý hráč hrá danú hru. No pri každom jednom ťahu je potrebné, aby sa hráč rozhodol, aký kanál použije. Existujú aj iné scenáre, kde môžeme zaradiť každý kanál na základe hry, ale hráč v hre má jeden ťah, keď sa hráč pohybuje. Ostatní hráči reagujú na tento krok a prispôbujú mu stratégiu. Každý hráč má konečný súbor akcií. Zdá sa, že metóda teórie hier je viac založená na spolupráci hráčov v hre. Smerovací protokol s viacerými kanálmi na výber je vhodnejší a tiež zvyšuje kvalitu smerovania. Kvalita je vyššia vzhľadom na to, že protokol si môže vybrať z viacerých. Následne stačí stanoviť hranicu, kedy je daný kanál ešte vhodné použiť. Teória hier na druhej strane tiež volí najvhodnejší kanál, ale každé zariadenie ovplyvňuje zostávajúce

Tabuľka 2  
Parametre simulácie

|                      |           |
|----------------------|-----------|
| Simulačná plocha [m] | 500 x 500 |
| Rádiový dosah [m]    | 100       |
| Uzly [počet]         | 16        |
| Pravidelné nasadenie | –         |
| Statický pohyb       | –         |

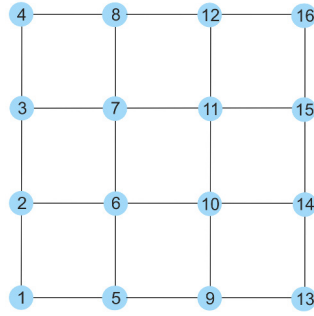
možnosti. Keď zariadenie vyberie ďalšie zariadenie, ktoré je v rade, musí zvážiť predchádzajúcu voľbu. Teória hier je simulovaná ako kooperatívna hra, kde každé zariadenie pozná predchádzajúce výbery zariadení. Na základe týchto rozhodnutí o výbere, si zariadenie zvolí kanál alebo bude nejaký čas čakať. Zariadenie musí čakať nejaký čas, keď nie sú k dispozícii žiadne kanály kvôli počtu susedov zariadenia. Zariadenie môže tiež zvoliť kanál, ale bude rušenie voči ostatným zariadeniam. Interferencia je jedným z parametrov, ktorá musí byť čo najnižšia, alebo v optimálnom prípade scenára nebude žiadne rušenie.



Obr. 2 Vstupné parametre pre hodnotenie kanálov pomocou teórie hier.

#### IV. SIMULÁCIA A VÝSLEDKY

Simulácia sa skladá zo 16 statických zariadení (hráčov) ich rozmiestnenie je zobrazené na Obr. 3. Čiara medzi každým z nich predstavuje spojenie. Vzdialenosť medzi dvoma zariadeniami je 100 metrov. Simulačná plocha je 500 metrov. Dve zariadenia môžu komunikovať na 13 samostatných kanáloch. Parametre simulácie sú zobrazené v Tab. 2. Spolupráca je v tomto prípade jedným z prioritných parametrov, keď chceme organizovať dostupné kanály s čo najmenšou možnou interferenciou. Z tohto dôvodu potrebujeme vedieť, ktorý kanál používajú iné zariadenia. Hra sa skladá z hráčov s poradím hráča. To isté je v našej simulácii. Zariadenie na spustenie hry (hráč) s číslom 1. Číslo zariadenia predstavuje poradie zariadenia v hre. Prvé zariadenie vyberie kanál pre každé zariadenie v dosahu. Toto zariadenie je prvé v poradí, vďaka tomu môže zariadenie vybrať kanál na základe prioritných parametrov, nemusí zvážiť, či existujú nejaké už priradené kanály. Ďalšie zariadenie s číslom 2 musí zvážiť, ktoré kanály zariadenie 1 už použilo. Spolupráca medzi zariadeniami je hlavným parametrom na zlepšenie riadenia. Zariadenie je schopné analyzovať, ktoré kanály sa na základe tejto spolupráce používajú, kde sa informácie zdieľajú so susednými zariadeniami. Každé zariadenie má zoznam dostupných kanálov, ktoré možno použiť. Ak predchádzajúce zariadenie používa niektoré kanály, na základe spolupráce môže zariadenie zrušiť tento kanál zo zoznamu. Zariadenie 2 môže vybrať dostupný kanál pre zariadenia v dosahu. Tento proces pokračuje podobne ako ten posledný. Každé zariadenie má pri výmene informácie o výbere kanálov zariadení s nižším poradovým číslom. Zariadenie tiež nemusí analyzovať všetky zariadenia iba v rádiovom dosahu a dvojskokových susedov, aby sa zabezpečilo, že nebudú rušené. Ak sa vyskytne prípad, keď nie sú k dispozícii žiadne kanály, zariadenie má dve možnosti. Prvou je čakať, kým bude aspoň jeden dostupný kanál, alebo druhá možnosť vybrať niektorý z už používaných kanálov. Druhá možnosť má určité nevýhody, ale rušenie môžeme znížiť na minimum výberom kanálu s najnižšou interferenciou.



Obr. 3 Topológia zariadení ako hráčov v sieti.

## V. ZÁVER

Metóda ako teória hier je vhodná na riadenie rádiových zdrojov pre rôzne typy sietí. Problém je len v tom, aký typ hry je vhodnejší a ktoré informácie sú dostatočne užitočné na charakteristiku jednotlivých komunikačných kanálov. Budúcnosť výskumu tejto metódy bude v definovaní koľko a zároveň, ktoré parametre môžeme považovať za prioritné na posúdenie vlastnosti kanála. Rovnako je potrebné určiť, ktoré parametre sú dostatočné na rýchle a správne riadenie týchto rádiových zdrojov. Aplikácia rádiových zdrojov je vhodná na implementáciu v rôznych typoch bezdrôtových sietí (senzory, drony, viacnásobný prístup). Zlepšovanie tejto metódy je ďalším krokom vo výskume, ako aj aplikácia metódy teórie hier do iných typov bezdrôtových sietí.

## POĎAKOVANIE

Táto práca vznikla v spolupráci Ministerstva školstva Slovenskej republiky pod výskumom VEGA 1/0492/18, KEGA 046TUKE-4/2018 a APVV-17-0208.

## LITERATÚRA

- [1] NEZNIK, D., DOBOS, L., Channel ranking in wireless network with CR, *SCYR 2018, Košice: TU*, pp. 51–52, 2018.
- [2] FELEGYHAZI, M., HUBAUX, J.-P., Game theory in wireless networks: A tutorial. 2006.
- [3] TRESTIAN, R., ORMOND, O., MUNTEAN, G.-M., Game theory-based network selection: Solutions and challenges. *IEEE Communications surveys & tutorials*, vol. 14, no. 4, pp. 1212–1231, 2012.
- [4] HAN, Z., et al. *Game theory in wireless and communication networks: theory, models, and applications*. Cambridge University Press, 2012.
- [5] MYERSON, R. B., *Game Theory: Analysis of Conflict*, First Harvard University Press paperback edition, 1997.
- [6] MARDEN, J. R., SHAMMA, J. S., *Game Theory and Control*. *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, no. 0, 2018.
- [7] BENSLAMA, M., BOUCENNA, M. L., and BATATIA, H., *Ad hoc networks telecommunications and game theory*. John Wiley & Sons, 2015.

# Computer Simulation Model of Three Stage Battery Charger

<sup>1</sup>Jakub URBANSKÝ, <sup>2</sup>Michal ŠPES, <sup>3</sup>Daniel PÁL, <sup>4</sup>Lubomír BEŇA,  
<sup>5</sup>Michal MÁRTON

<sup>1,2,3,4</sup> Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>5</sup> Department of Electronics and Multimedia Telecommunications, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>jakub.urbansky@tuke.sk, <sup>2</sup>michal.spes@tuke.sk, <sup>3</sup>daniel.pal@tuke.sk,  
<sup>4</sup>lubomir.bena@tuke.sk, <sup>5</sup>michal.marton@tuke.sk,

**Abstract** — With an increasing share of renewable resources, given their unpredictability of electricity production. The accumulation of electric energy is nowadays one of greatest challenges in field of Power Engineering. The electrochemical accumulation is currently most significant way of energy storage. Uncontrolled process of charging can significantly degrade lifespan of such accumulators. These accumulation devices need to be charged in a controlled way. The purpose of this article is to investigate current trends in battery charging choose most efficient method and implement such method in software Matlab Simulink. The result of this article is a functional battery charging model usable in future research.

**Keywords** — accumulation, battery charging, computer model, Matlab Simulink

## I. INTRODUCTION

The demand for electricity production increases around the world every day. Since production and consumption of electricity is carried out simultaneously, the amount of produced electricity has to be equal to consumed electricity, for power system stability reasons. [1]

Excess electricity from electricity production (mainly renewables power sources) is often accumulated. The batteries are widely used for electricity accumulation.

Batteries are often charged and discharged. To prolong their serviceable life they need to be charged proper way. [2] [3]

The main aim of this paper is to investigate current trends in battery charging and choose proper method which will be used for implementation in battery charger controller.

The next goal of this paper is to create a function computer simulation model of battery charging controller suitable for further use in research, particularly in the model of hybrid renewable energy system.

## II. TESTING MODEL

Using the software Matlab Simulink, a computer simulation model was created. Function blocks from Simulink libraries Simscape/SimPowerSystems were used. Simulations ran in continuous mode and were compiled by ode45 integrated compiler in Matlab Simulink.

### A. Charging controller

Batteries are one of the most important parts of hybrid systems. They are used to storage electricity for further usage. Most of the time they are in operation, which means they are frequently charged and discharged. To maximize their lifetime, it is important to charge them proper way, which can be secured with proper device such as charging controller. [4]

The most common methods of charging include:

- Charging with constant current,
- Charging with constant voltage,
- Charging piecewise charging. [4]

Currently, the two-stage charging method is most common. It consists of charging with constant current and constant voltage. With the two-stage charging there can be ensured relatively quick charging of batteries, however at price of increased outgoing gas at the end of charging. [4]

Therefore, there was presented in the [4], so called three-staged charging method.

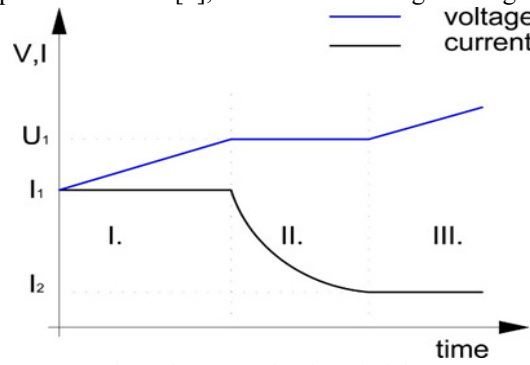


Fig. 1 Three stage charging principle

Three-stage method (Fig. 1) consists of three stages:

- **I. section (constant current stage):** battery is charged with constant current. Battery have low capacity at the beginning of charging, the battery voltage raises by using constant current  $I_1$
- **II. Section (constant voltage stage):** battery is charged under constant voltage  $U_1$ , at the same time charging current gradually decreases.
- **III. Section (low value constant current stage):** at the end of charging, battery is charged with low value constant current  $I_2$ . [4]

### B. Implementation of charging regulator in Matlab Simulink

For purposes of creating this model there was defined 3 stages of batteries SOC (state of charge). In the model (Fig.2) these boundary values of SOC can be easily modified to different values. Batteries are charged by constant current (maximal available current) in stage I. from 0 – 90% SOC. From 90-98% SOC are batteries charged with constant voltage and from 98 – 100% SOC batteries are charged with small constant current. Input parameter in model is power from photovoltaic cells and from wind turbine ( $P_{pv}$ ,  $P_{vt}$ ), which is divided with batteries voltage. Multiport switch is then switching charging stages based on batteries SOC. Output parameter of model is regulated charging power  $P_{reg}$ .

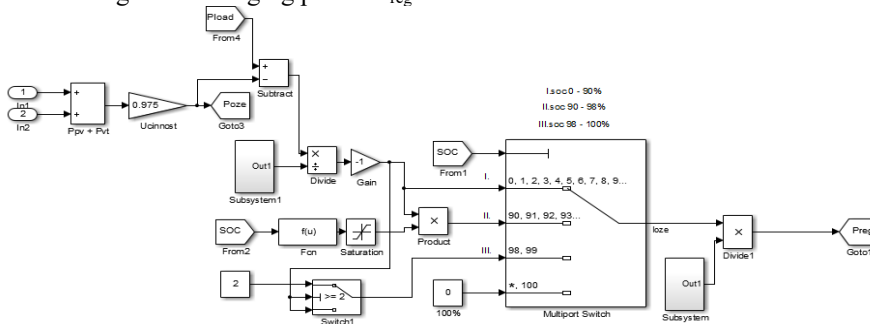


Fig 2. PC model in environment of Matlab Simulink Software

### C. Results

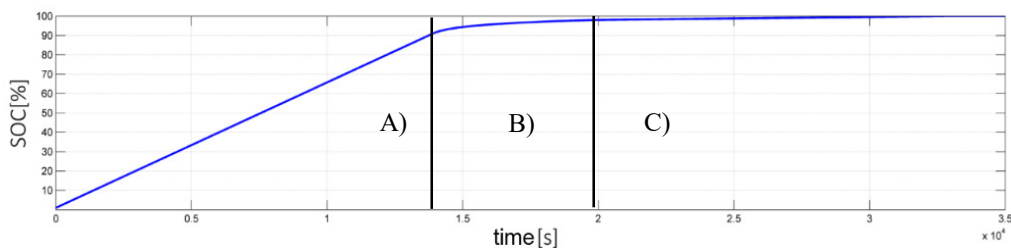


Fig 3. State of charge characteristic of batteries

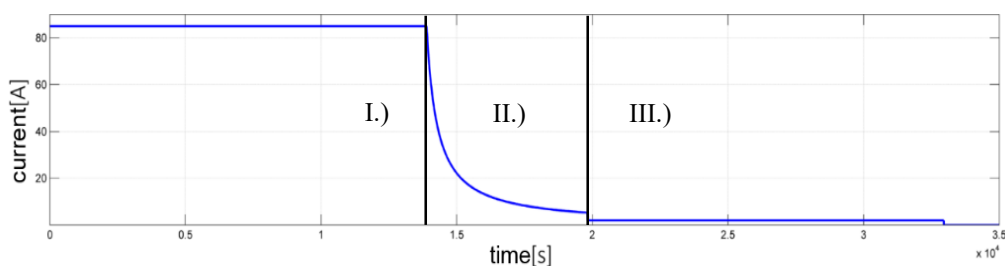


Fig 4. Charging current characteristic of batteries from charging regulator

In the Fig.3 there can be seen charging of batteries from 0 to 100%. In stage I. (Fig. 3 A.) is SOC changing linearly, that answer the description of maximal constant current stage (Fig.4 I.)). In stage II. (Fig. 3 A.) is SOC changing non linearly, that answer the description of constant voltage stage (Fig.4 II.)). In stage III. (Fig. 3 A.) is SOC again changing linearly, that answer the description of slow current stage (Fig.4 III.)).

### III. CONCLUSION

A three-stage charging method for battery is shown in this paper. Charging controller model for hybrid renewable power system with working three-stage charging was implemented in computer software Matlab Simulink.

The simulation results according to theory indicate that three-stage charging method was successfully implemented in battery charger computer model. It can be applied in hybrid renewable power system for charging its batteries properly to prolong their service life.

### ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Scientific Grant Agency of the Ministry of Education of Slovak Republic and the Slovak Academy of Sciences by the projects VEGA No. 1/0372/18.

### REFERENCES

- [1] KOLCUN M., GRIGER V., BEŇA L., RUSNÁK J.: *Prevádzka elektrizačnej sústavy*, Košice 2007, ch. 1
- [2] LIAO J., LI J.: Simplified A review of charging technologies for lead-acid batteries, *Chinese Labat Man* 2010, 47 (3) 132-135,139
- [3] LI E., WANG, Y., WU W.: Research on charging technology of lead-acid battery, *Chinese Labat Man* 2010, 47 (5) 253-258
- [4] XIANG Z., CHEN J et.al.: A Three-stage Charging Method for Battery in Photovoltaic Power System [www.atlantispress.com/php/download\\_paper.php?id=22740](http://www.atlantispress.com/php/download_paper.php?id=22740), 20.10.2018

# Implementácia Algoritmu Automatickej Identifikácie Rečníka v Matlabe

<sup>1</sup>Ladislav ANDREJKO, <sup>2</sup>Matúš PLEVA

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií  
Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach  
Park Komenského 13, 042 00 Košice, Slovenská republika

<sup>1</sup>ladislav.andrejko@student.tuke.sk, <sup>2</sup>matus.pleva@tuke.sk

**Abstrakt** — Tento článok sa zaoberá automatickou identifikáciou rečníka pomocou vektorového kvantovania v simulačnom programe Matlab. Program slúži na prehľadné predstavenie všetkých použitých algoritmov a metód spolu s vizualizáciou spracovávaných dát. Na začiatku práce je krátke oboznámenie sa s prehľadom metód používaných pre rozpoznávanie rečníka. V závere tohto článku je predstavený program a jeho funkcionality.

**Kľúčové slová** — HMM, DTW, vektorové kvantovanie, identifikácia rečníka, verifikácia rečníka, Matlab

## I. ÚVOD

Identifikácia rečníka je založená na princípe automatického najpravdepodobnejšej zhody s natrénovaným vzorom/modelom hovorenej reči zo zvukových záznamov. Táto technika v súčasnosti vzbudzuje veľký záujem, pretože napomáha pri tvorbe robustných systémov prepisu rečových záznamov do textovej podoby. Predstavuje tak základ pre tvorbu automatizovaných systémov, ktoré môžeme použiť na overenie identity ako napríklad autentifikácia v telefónnych systémov mobilných operátorov, telefón banking, služby databázového prístupu, zabezpečenie dôverných informácií atď.

## II. PREHĽAD METÓD

### A. HMM- Hidden Markov Model

V súčasnosti najpoužívanejšia metóda pre identifikáciu rečníka. Používa sa rovnako ako pre rozpoznávanie jednotlivých slov tak aj pre rozpoznávanie plynulej reči. Toto rozpoznávanie môže ale aj nemusí byť závislé na hovoriacom.

HMM je model stochastického procesu ktorý je založený na pravdepodobnostnom konečnom automate, ktorý v diskretných časových okamihoch generuje náhodnú postupnosť pozorovaní. V každom kroku mení svoj stav, podľa súboru vopred daných pravdepodobností prechodu. Stav do ktorého tento model prejde vygeneruje pozorovanie podľa rozdelenia výstupnej pravdepodobnosti patriacej k tomuto stavu.

Každý model má dva typy rôznych stavov. Vstupný stav je stavom modelu pred úplným začiatkom pozorovacieho procesu. Výstupný stav je stavom modelu po skončení procesu generovania. Existujú však aj tzv. neemitujúce stavy ktoré negenerujú pozorovania takže nemajú k nim žiadne príslušné rozdelenia pravdepodobností [1].

### B. VQ-Vector Quantization

Podstatou vektorovej kvantizácie (VQ) je transformácia nekonečného počtu výstupných parametrických vektorov na ich konečnú počet. Ide o to, že vokálny trakt nadobúda konečný počet stavov ale pri produkcii reči prechádza z jedného stavu do druhého. Proces VQ sa delí na dve fázy, a to fázu tréovania a fázu vektorového kvantovania.

V tréovacej fáze sa vytvára tzv. codebook ktorý predstavuje maticu výstupných vektorov. Na tréovanie VQ sa používajú renovácia dát spolu s algoritmom napr. LBG, K-MEANS.

Výstupné vektory matice majú byť odhadnuté tak, aby skreslenie bolo minimálne. Počas kvantovania prehľadávame kódovú knihu. Následne sa vytvorí výstupný vektor ktorý ma najmenšiu vzdialenosť [4].



### C. DTW- Dynamic Time Warping

Princíp DTW je založený na deformácii časovej osi. Jedno slovo alebo skupina slova sa porovnáva ako jeden celok so vzorom, pričom rozhodovanie sa odohráva na základe najmenej vzdialenosti rozpoznaného slova k niektorému vzoru [3].

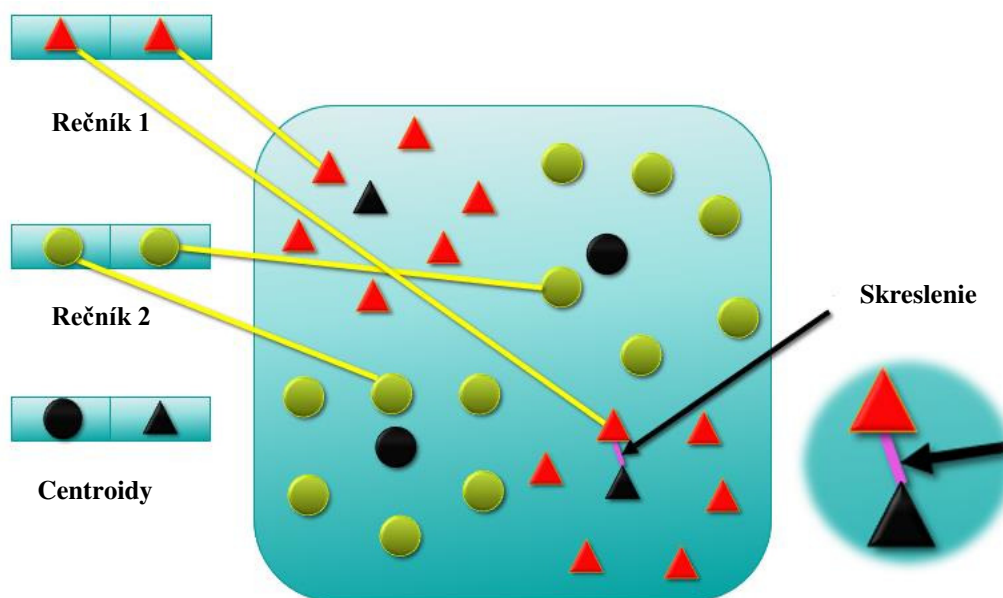
DTW je algoritmus pre hľadanie podobnosti medzi dvomi sekvenciami, ktoré môžu byť odlišné v rýchlosti a čase. Napríklad, podobnosť hlasu by malo byť detegované aj keby jedna z nahrávok bola zrýchlená alebo spomalená. DWT bolo použité na video, audio, grafiku. Ide vlastne o metódu, ktorá umožňuje nájsť optimálnu zhodu medzi dvoma sekvenciami s určitými obmedzeniami. Táto metóda sa používala na menej výkonných systémoch pred implementáciou HMM [2].

## III. IMPLEMENTÁCIA VYBRANEJ METÓDY V SIMULAČNOM PROSTREDÍ MATLAB

### A. Princíp VQ- Vector Quantization

V tomto programe je použité už spomínané vektorové kvantovanie pre jeho jednoduchú implementáciu. Na obrázku číslo 1 je znázornený koncepčný diagram pre ilustráciu procesu rozpoznávania. Na tomto obrázku sú dvaja hovoriaci a dve dimenzie akustického priestoru. Modré guľky predstavujú akustické vektory hovoriaceho 1 a červené trojuholníky hovoriaceho 2. V prípravnej (trénovanej) fáze je použitý zoskupovací algoritmus LBG (Obr.4) VQ codebook je generovaný pre obidvoch známych hovoriacich podľa akustických vektorov.

Výsledné kódovacie slová (centroidy) sú znázornené ako prázdne trojuholníky, guľky. VQ-skreslenie je vzdialenosť od vektora k najbližšiemu kódovému slovu codebooku. Hovoriaci, ktorý zodpovedá codebooku s najmenším skreslením je identifikovaný ako autor vstupného výroku [5] [6].



Obr. 1 Koncepčný diagram znázorňujúci vytvorenie VQ codebooku [6,7].

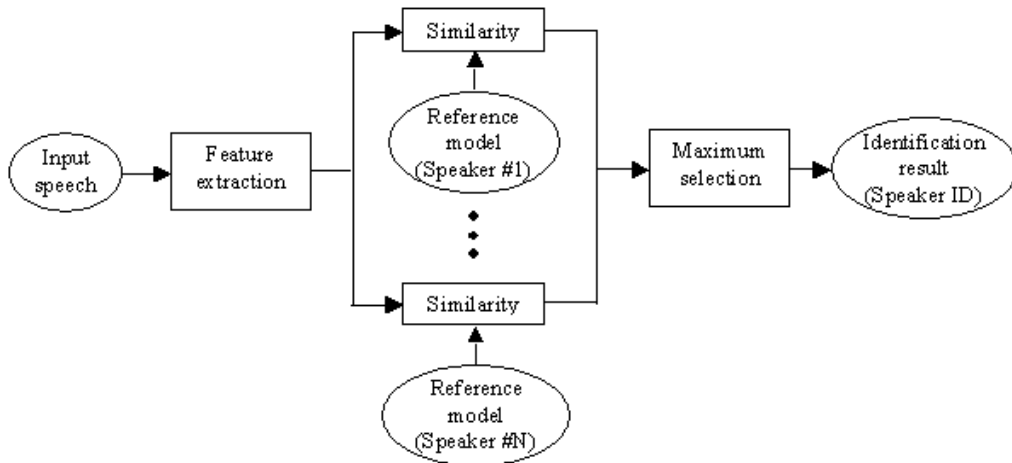
### B. Identifikácia a Verifikácia

Pre rozpoznávanie rečníka môžeme použiť identifikáciu a verifikáciu. Identifikácia hovoriaceho je proces pri ktorom sa určí ,ktorý z evidovaných hovoriacich vyslovil daný výrok (Obr. 2). Verifikácia hovoriaceho je proces pri ktorom prijme alebo odmietne tvrdenie totožnosti (Obr. 3). Systém opísaný v tomto článku je určený na *identifikáciu hovoriaceho* nezávisle na texte, teda nezávisí na tom čo hovoriaci hovorí.

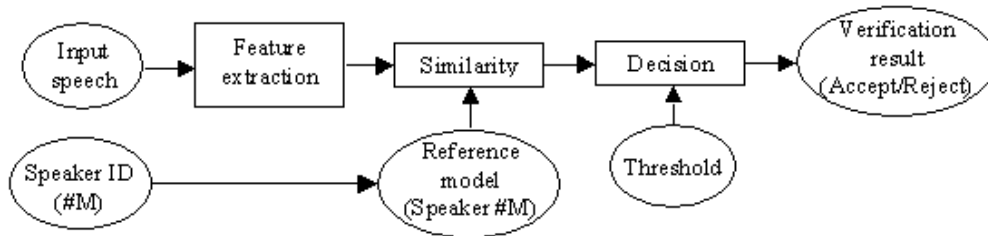
Na začiatku sú dva základné moduly (Obr. 2): extrakcia parametrov a porovnávanie parametrov. Extrakcia je proces získania dát z hlasového signálu, ktoré môžu poslúžiť na určenie každého hovoriaceho. Porovnávanie zahŕňa proces identifikácie neznámeho hovoriaceho na základe porovnávania získaných parametrov z hlasového výroku s uloženou skupinou známych hovoriacich. V našom teste bolo 8 hovoriacich po 2 nahrávky (jedna pre tréning a druhá pre testovanie, s nahratým rovnakým slovom) s  $Fvz$  12,5kHz.

Všetky hlasové biometrické systémy musia prejsť dvoma fázami. Prvá je prípravná-tréningová, druhá testovacia. V prípravnej fáze musí každý z evidovaných hovoriacich

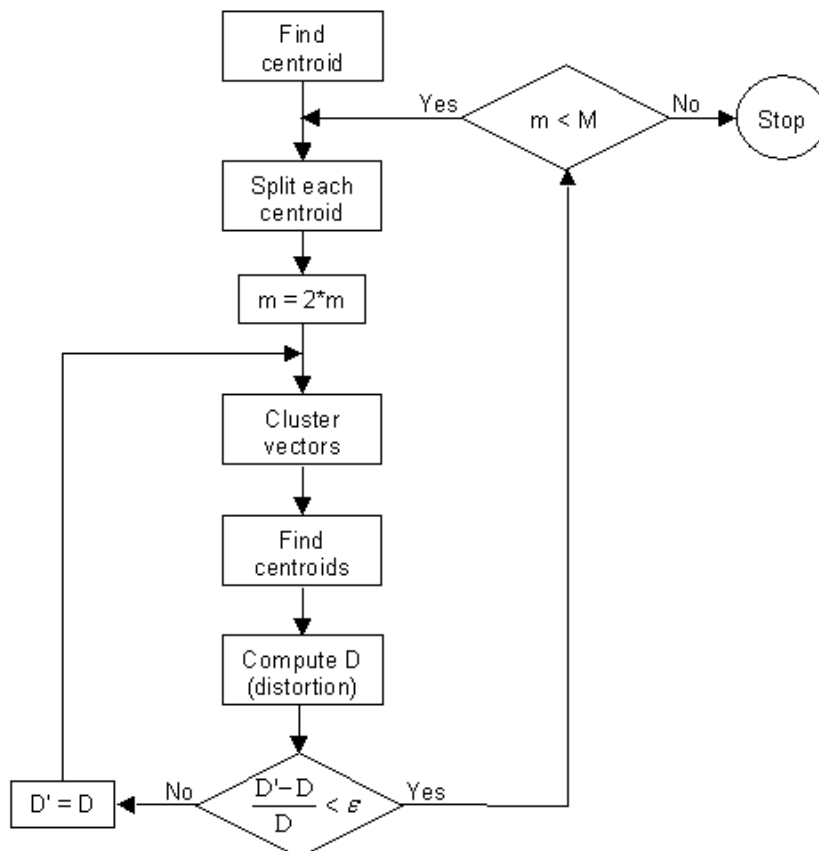
poskytnúť vzorky reči aby si systém mohol pre neho vytvoriť referenčný model. V testovacej fáze je vstupná reč porovnávaná s uloženým referenčným modelom a výsledkom je rozpoznanie najpravdepodobnejšieho [5].



Obr. 2 Bloková schéma- Identifikácia



Obr. 3 Bloková schéma -Verifikácia

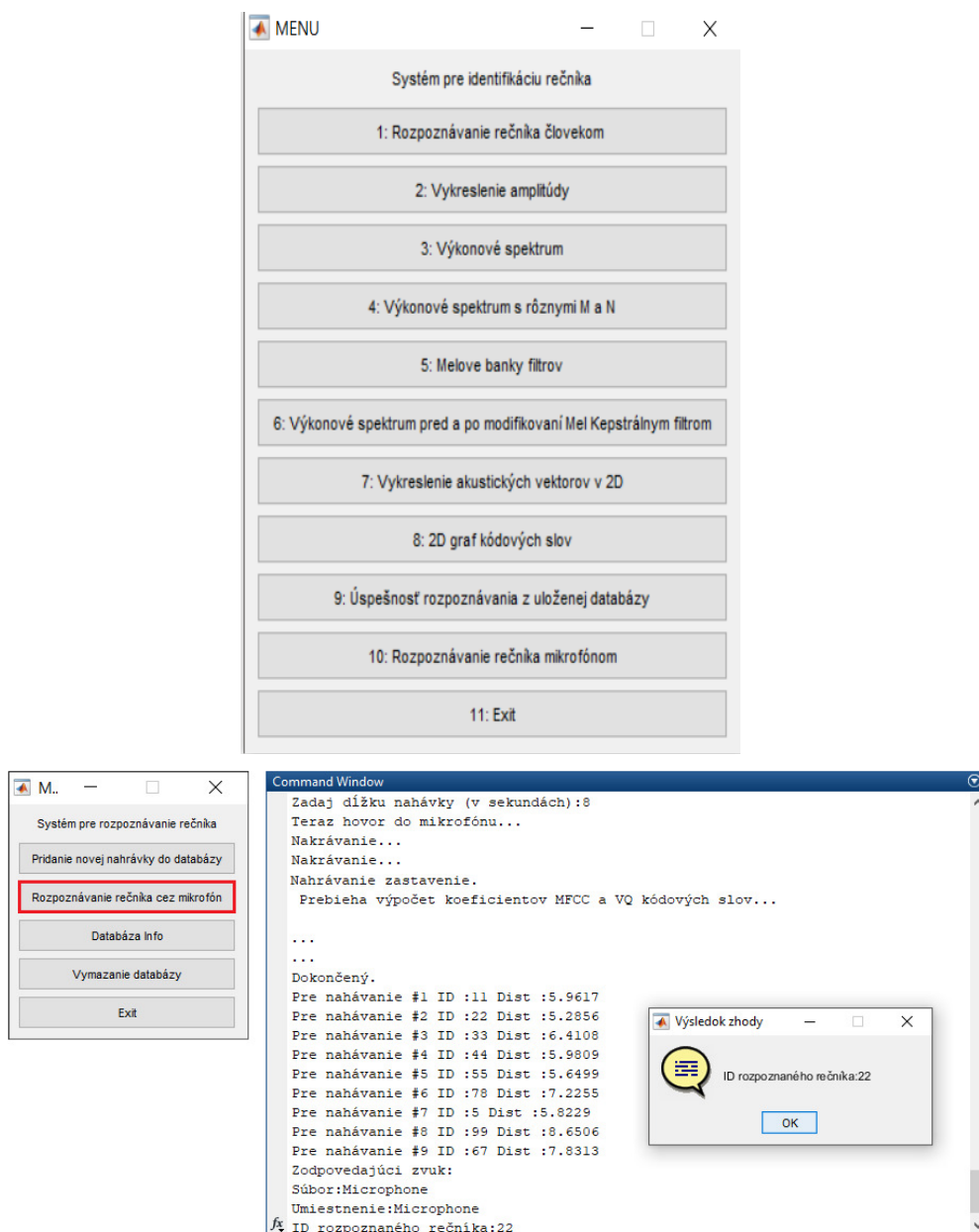


Obr. 4 Bloková schéma Linde-Buzo-Gray algoritmu

### C. MATLAB

Pre automatickú identifikáciu rečníka bolo použité simulačné prostredie MATLAB. Naším hlavným cieľom bolo vypracovať úlohy a návody ktoré potom neskôr môžu slúžiť ako výučbový materiál pre študentov. Mnohé z požadovaných úloh sú už implementované v Matlabe. Na uľahčenie sú dodané funkcie *melfb* a *disteu*; a dve hlavné funkcie: *train* a *test*. Hlavnou úlohou bolo doplniť dve chýbajúce funkcie *mfcc* a *vqlbg*, ktoré sú volané z daných hlavných funkcií. Program taktiež obsahuje testovaciu databázu hlasových vzoriek, ktorú možno ďalej testovať. Vytvorenie vlastnej databázy sa dá priamo cez program. Každá nahrávka pridaná do databázy je taktiež označená ID hovoriaceho ktorá sa zobrazí pri nájdení zhody (Obr.5).

Po spustení programu sa nám zobrazí menu, ktoré obsahuje rôzne funkcie ako napríklad vykreslenie signálu, výkonové spektrum signálu, Melova banka filtrov, 2D vykreslenie akustických vektorov, rozpoznávanie všetkých nahrávok v databáze, rozpoznávanie rečníka pomocou mikrofónu.



Obr. 5 GUI programu a príkazové okno -postup pri rozpoznávaní rečníka cez mikrofón

Pri rozpoznávaní rečníka z mikrofónu je nahrávka hlasu hovoriaceho porovnávaná s databázou vytvorenou používateľom (Obr.5). Samotné rozpoznávanie rečníka nie je úplne presné z dôvodu použitia najjednoduchšej metódy vektorového kvantovania, taktiež je ovplyvňované mnohými faktormi ako je napríklad zmena reči v čase, vplyv zdravotného stavu (nádcha), tempo reči, akustický šum atď. Ide hlavne o ukážku ako pracuje rozpoznávanie rečníka pomocou vektorového kvantovania.

#### IV. ZÁVER

Tento program Automatická identifikácia rečníka nie je 100% presný, slúži hlavne ako ukážka pre študentov nie pre ďalší výskum. Program sme otestovali pridaním jedného rečníka a otestovaním na celej databáze 9 rečníkov. Cieľom bolo oboznámiť študentov z danou problematikou. Program je ľahko ovládateľný v budúcnosti budú na ňom vykonané úpravy textu a funkcií v zdrojovom kóde, ktoré sprehrľadnia dostupné funkcionality a prípadne umožnia implementáciu iným metód identifikácie (napríklad i-vektory) k už implementovanému vektorovému kvantovaniu.

#### POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja vďaka medzinárodnému projektu bilaterálnej spolupráce číslo SK-TW-2017-0005 s názvom „Hlboké učenie pre pokročilé rečové aplikácie“ a vďaka podpore Kultúrnej a edukačnej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky vďaka projektu číslo 009TUKE-4/2019 s názvom „Inovácia obsahu a príprava učebných textov pre predmet Biometrické systémy bezpečnosti“. Ďalej chcem poďakovať autorom pôvodného upraveného programu Mahima Garg, Omar Razi, Supriya Phutela, Vaibhav Kapoor, Varun Chopra.

#### LITERATÚRA

- [1] Guldan. M. : Automatická analýza zvukovej informácie; Diplomová práca, Žilinská Univerzita, 2006
- [2] Ing. Karták M. : Rozpoznávanie reči použitím neurónových sietí; Písomná práca k dizertačnej skúške, Technická Univerzita v Košiciach, 2007
- [3] Terpák M. : Metódy rozpoznávania hovoriacich, Diplomová práca, Žilinská Univerzita, 2006
- [4] Syč J. : Rozpoznávanie rečníka, Diplomová práca, Žilinská Univerzita, 2006
- [5] [http://minhdo.ece.illinois.edu/teaching/speaker\\_recognition/speaker\\_recognition.html](http://minhdo.ece.illinois.edu/teaching/speaker_recognition/speaker_recognition.html)
- [6] F.K. Song, A.E. Rosenberg and B.H. Juang, "A vector quantisation approach to speaker recognition", *AT&T Technical Journal*, Vol. 66-2, pp. 14-26, March 1987.
- [7] Anrejko L.: Biometrické systémy identifikácie a autentifikácie. , Bakalárska práca, Technická univerzita v Košiciach, 2018

# Riadenie mobilného robotického ramena

<sup>1</sup>Peter GIROVSKÝ, <sup>2</sup>Mikuláš LUNIO

<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>mikulas.lunio@student.tuke.sk

**Abstrakt** — V tomto príspevok chceme predstaviť možnosť ovládania mobilného robotického ramena ruky pomocou snímania pohybu ľudskej ruky. Pre snímanie pohybov ruky je použitá vyrobená dátová rukavica. V príspevku je popísaný samotný návrh mobilného robotického ramena ako aj návrh dátovej rukavice pre jeho ovládanie.

**Kľúčové slová** — dátová rukavica, mobilné robotické rameno, akcelerometer, ohybový senzor

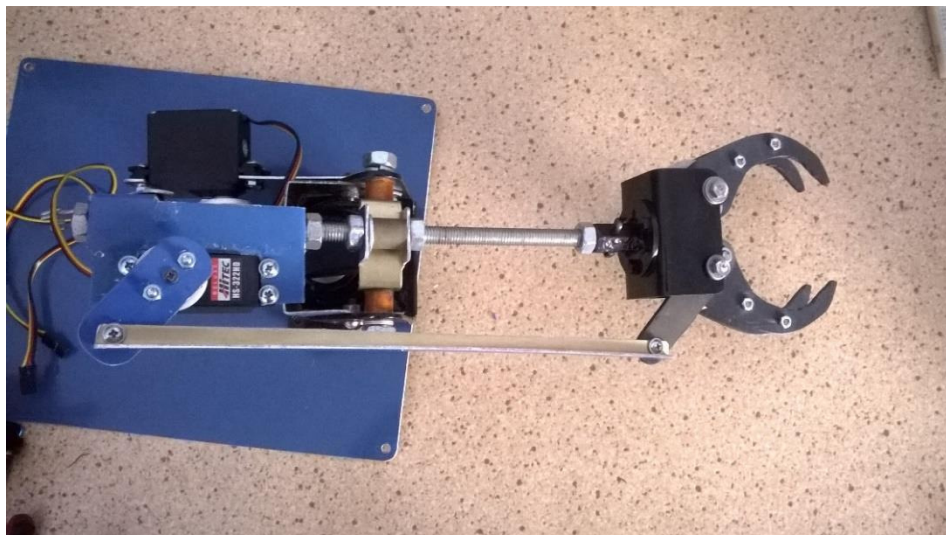
## I. ÚVOD

Robotika má v dnešnom dobe svoje nenahraditeľné miesto najmä v oblasti priemyslu, kde si bez robotov už nevieme predstaviť žiadne automatizované pracovisko. Automatické roboty sú s výhodou používané kvôli vysokej rýchlosti a presnosti výroby. Robotika predstavuje komplexnú vednú oblasť, ktorá je úzko previazaná s elektronikou, elektrotechnikou, mechanikou, ako aj so softwarovým vybavením pre samotné riadenie robota. Prvý priemyselný robot bol nasadený do praxe už v roku 1961 firmou Unimation, kde jeho hlavnou úlohou bolo premiestňovať objekty. O tej dobe robotika prešla obrovským vývojom a dnes sa s robotmi stretávame nielen na poli priemyselnej využiteľnosti, ale aj v iných oblastiach.

Mobilné robotické systémy sa môžu pohybovať samostatne vo výrobných halách za pomocou senzorických systémov, poprípade v neznámom teréne s podporou počítačového videnia a stacionárnych družicových systémov. Môžeme povedať, že vznik mobilných robotov siaha do obdobia vzniku robotiky ako takej.

## II. MOBILNÁ ROBOTICKÁ PLATFORMA

V tejto časti príspevku popíšeme mobilnú robotickú platformu, zobrazenú na obr.1 a jej jednotlivé subsystemy ako podvozok, pohonný subsystem, senzorický subsystem snímania otáčok a subsystem robotického ramena.



Obr. 1 Mobilná robotická platforma.

### A. Podvozok

Pre mechanické prevedenie podvozku mobilného robota sa ako najvhodnejšie zvolilo usporiadanie štvorkolesového diferenciálneho podvozku so všetkými hnanými kolesami. Základ podvozku tvorí 1mm hrubý hliníkový plech, zohnutý do tvaru písmena U, ktorý tvorí nosnú časť podvozku a platformu na pripevnenie ostatných komponentov, pričom na bokoch sú vyvŕtané otvory pre uchytanie motorov a osí. Medzi motormi je miesto, kde sú umiestnené batérie a to kvôli kompaktnosti, nízkeho ťažisku a stabilite robota.

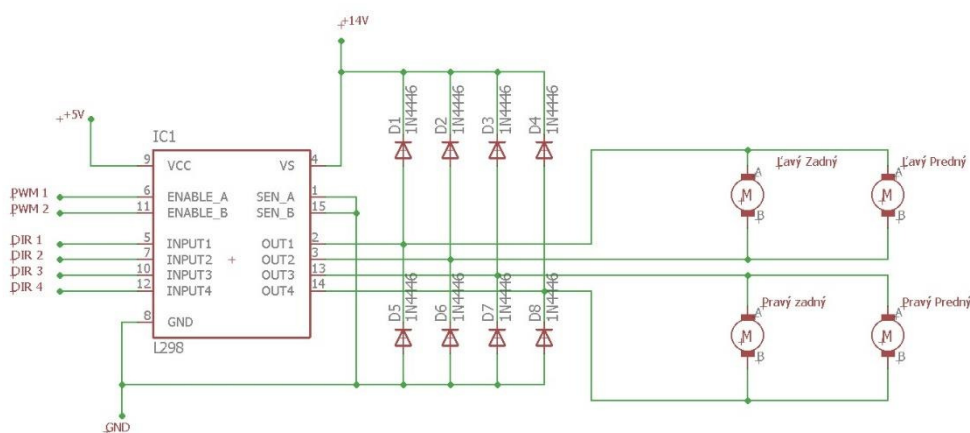
### B. Pohonné jednotky

Základom pohonnej jednotky sú štyri jednosmerné motory s permanentnými magnetmi s kovovou prevodovkou. Dva z nich sú typu POLOLU-1103 a ďalšie dva sú typu POLOLU-2823, Tieto motory sú totožné, pričom POLOLU-2823 obsahujú navyše inkrementálny Hallov snímač, ktorý sa použije na meranie otáčok.

Parametre motorov:

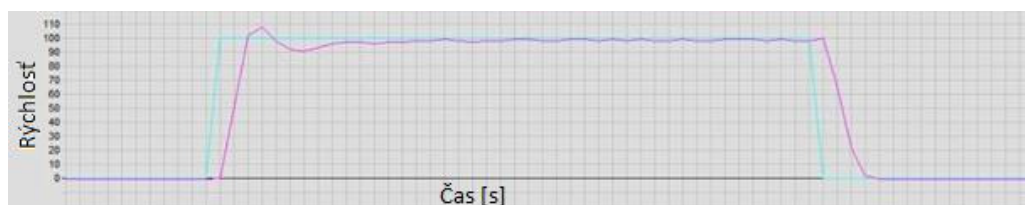
- Napájacie napätie: 12V
- Prevodový pomer: 30:1
- Menovité otáčky: 350 ot./min
- Krútiaci moment: 0,776 Nm

Napájanie týchto motorov je zabezpečené meničom, ktorého základ tvorí integrovaný obvod L298. Princiálne zapojenie je zobrazené na obr. 2.



Obr. 2 Princiálne zapojenie pohonnej jednotky.

Pre meranie otáčok motora bol použitý Hallov inkrementálny snímač, ktorý je už priamo zapuzdrený v motore POLOLU-2823. Tento snímač sa skladá z rotačného magnetického disku, ktorý je upevnený priamo na hriadeli motora pred prevodovkou a dvoch Hallových snímačov magnetického poľa, pre snímanie dvoch kanálov. Na základe informácií z inkrementálneho snímača sa riadila rýchlosť motorov mobilného robota.



Obr. 3 Priebeh rýchlosti pohonov

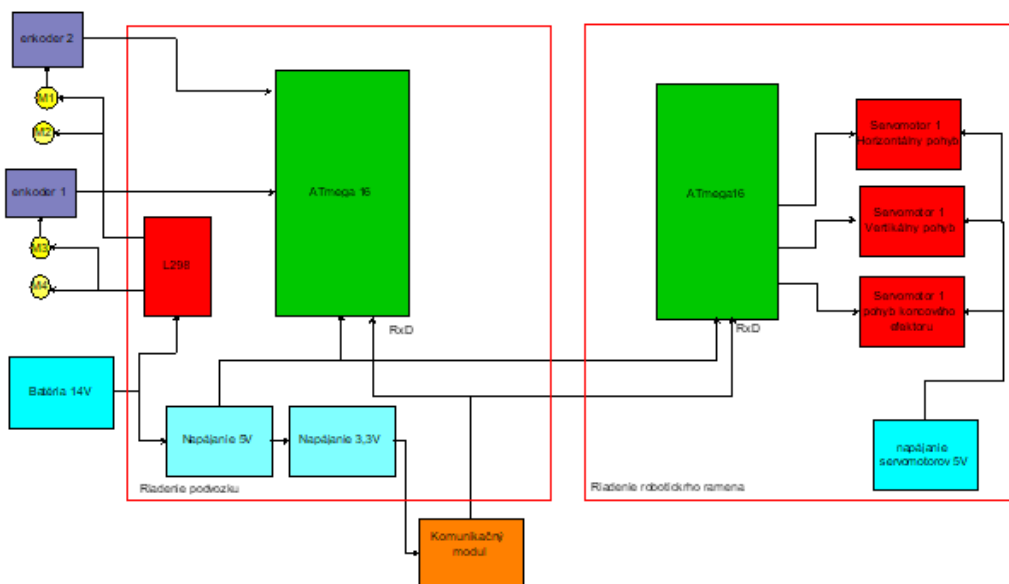
### C. Robotické rameno

Pre jednoduchosť a ľahké ovládanie bola zvolená kinematická štruktúra robotického ramena so sférickým súradnicovým systémom skladajúca sa z dvoch rotačných stupňov voľnosti a jedným koncovým efektorom v podobe chápadla. Celkovo sú ovládané tri nezávislé pohyby a to rotácia v horizontálnom smere, rotácia vo vertikálnom smere a pohyb koncového efektora. Ako akčný člen pre horizontálnu rotáciu a pohyb efektora bol použitý modelársky servomotor HS-

322HD. Pre vertikálny pohyb ramena sa pri testoch ukázal tento servomotor ako slabý a nahradil sa ekvivalentným typom s rovnakými rozmermi a napájacím napätím ale s väčším momentom - motor TSX55.

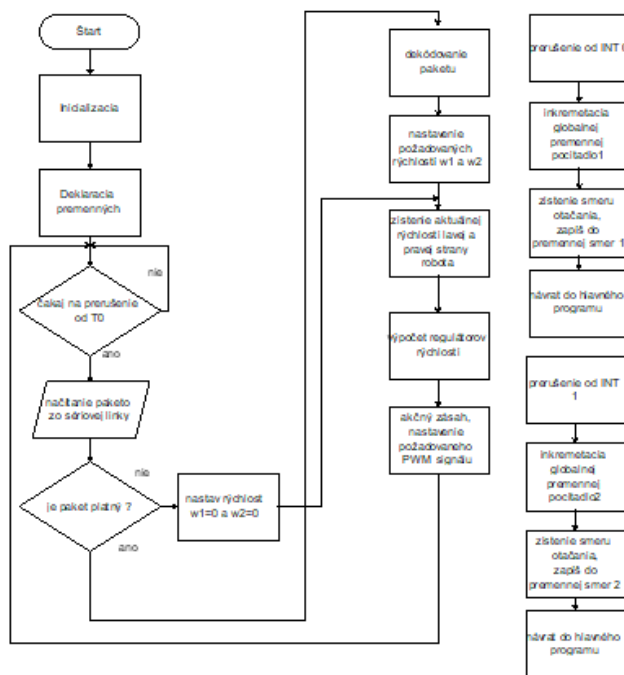
### III. RIADENIE

Riadiaci subsystém mobilného robota sa skladá z dvoch oddelených systémov a to systému pre riadenie podvozku robota a systému pre riadenie robotického ramena. Základ oboch systémov tvorí 8 bitový mikrokontrolér ATmega 16.



Obr. 4 Principiálna bloková schéma riadenia mobilného robotického ramena.

#### A. Riadenie podvozku



Obr. 5 Bloková schéma riadenia podvozku.

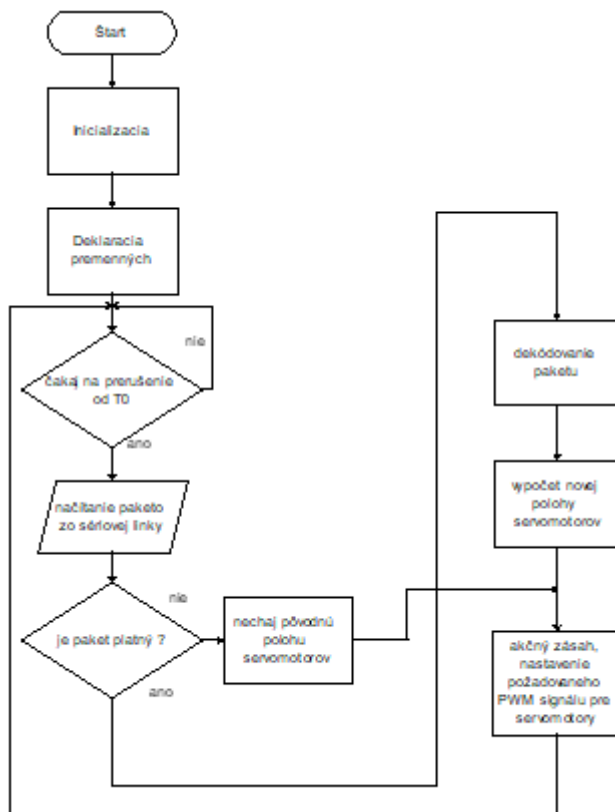
Program pre riadenie podvozku na začiatku inicializuje potrebné periférie a deklarujú sa globálne premenné. Celý program prebieha v nekonečnej slučke, ktorá začína prerušením od časovača T0. Toto prerušenie nastane každých 100ms. Na začiatku programovej slučky program najprv zistí, či sériovou linkou prišiel paket, či je paket správny a či je určený pre riadenie



podvozku robota. Ak tieto podmienky splnené nie sú, nastaví sa globálne premenné w1 a w2 na nulu čo, zodpovedá požadovaným nulovým otáčkam robota a robot sa nehýbe.

Ak je paket správny, tak sa dekoduje a nastaví sa podľa neho požadované otáčky v premenných w1 a w2. Program potom vypočíta skutočné hodnoty otáčok ľavej a pravej strany robota a podľa skutočných a požadovaných otáčok vypočíta PI regulátor regulačný zásah do systému. Podľa veľkosti regulačného zásahu periféria čítač/časovač 1 vygeneruje modulovaný PWM signál, ktorý ovláda veľkosť napätia na svorkách motorov a tým ich rýchlosť. Program potom čaká na ďalšie prerušenie od časovača T0, pre ďalšiu programovú slučku. Medzitým, ak dôjde k prerušeniu od INT0 program sa preruší a obsluží prerušenie, ktoré inkrementuje globálnu premennú počítadlo1, zistí stav kanálu B inkrementálneho snímača pre určenie smeru otáčok. Obdobná situácia nastane pri prerušení od INT1, ktorá inkrementuje globálnu premennú počítadlo2 a zistí smer otáčok.

### B. Riadenie robotického ramena



Obr. 6 Bloková schéma riadenia robotického ramena.

Program pre riadenie robotického ramena na začiatku inicializuje potrebné periférie a deklarujú sa globálne premenné. Celý program prebieha v nekonečnej slučke, ktorá začína prerušením od časovača T0, toto prerušenie nastane každých 100ms. Na začiatku programovej slučky program najprv zistí, či sériovou linkou prišiel paket a či je paket správny a či je určený pre riadenie robotického ramena. Ak tieto podmienky splnené nie sú splnené, premenné nastavujúce polohu natočenia jednotlivých servomotorov ostávajú nezmenené. Robotické rameno sa nehýbe.

Ak je paket správny, tak sa dekoduje a nastaví sa podľa neho nové polohy natočenia robotického ramena a vygeneruje sa perifériami čítač/časovač 1 a 2 PWM signál pre novú polohu robotického ramena. Program potom čaká na ďalšie prerušenie od časovača T0 pre nasledujúcu programovú slučku.

## IV. DÁTOVÁ RUKAVICA

V tejto časti je podrobne popísaný princíp návrhu elektroniky dátovej rukavice, popis a princíp činnosť senzorov použitých pre ovládanie mobilného robota elektronické zapojenie a mechanická konštrukcia aj s riadiacim programom. Ovládanie pohybu mobilnej platformy, ako aj samotného robotického ramena bolo robené pomocou snímania náklonu dátovej rukavice a ovládanie koncového efektora bolo robené na základe ohybových senzorov dátovej rukavice.



Obr. 6 Dátová rukavica

#### A. Snímanie náklonu dátovej rukavice

Pre meranie náklonu sa použil trojosí akcelerometer MMA7341LC Freescale Semiconductor. Akcelerometer má výstupné hodnoty zrýchlení v jednotlivých osiach v podobe analógového napätia, ktoré sú prevedené cez 10 bitový A/D prevodník v mikroprocesore ATmega8 na digitálnu hodnotu pre ďalšie spracovanie. Rozsah výstupného napätia je v rozmedzí  $\pm 1g$  je 1,22V až 2,07V, pričom napätie 1,68V predstavuje výstupné napätie pri nulovom gravitačnom zrýchlení a predstavuje offset akcelreometra, ktorý sa v programe odpočíta od nameranej hodnoty napätia. Uhol náklonu je prepočítaný podľa vzorcov (1)-(3), kde hodnoty  $g_x$ ,  $g_y$ ,  $g_z$  predstavujú čiastkové zložky gravitačného zrýchlenia v osiach x, y, z, ktoré sú získané z akcelerometra a hodnoty  $\alpha$ ,  $\beta$  predstavujú hodnoty náklonu v osiach x, y.

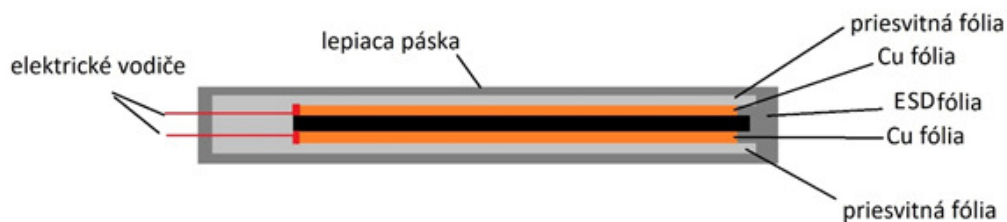
$$g = \sqrt{g_x^2 + g_y^2 + g_z^2} \quad (1)$$

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{g_x}{g}\right) \quad (2)$$

$$\beta = \arcsin\left(\frac{g_y}{g}\right) \quad (3)$$

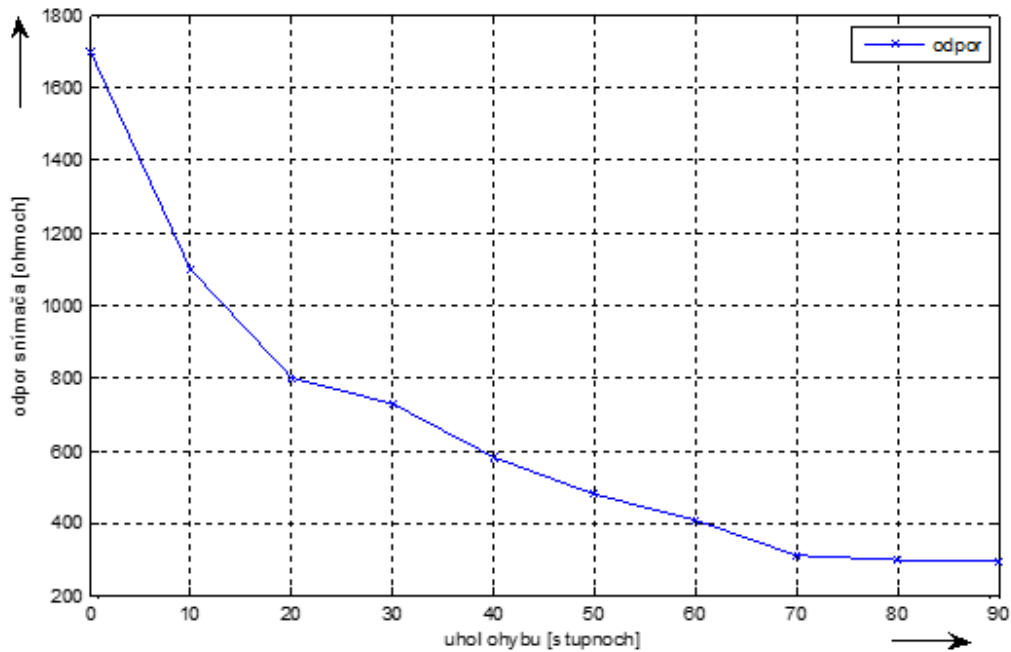
#### B. Snímanie ohybu dátovej rukavice

Pre ovládanie koncového efektora bol zostrojený ohybový senzor, ktorý sníma pohyby prstov dátovej rukavice.



Obr. 7 Ohybový senzor

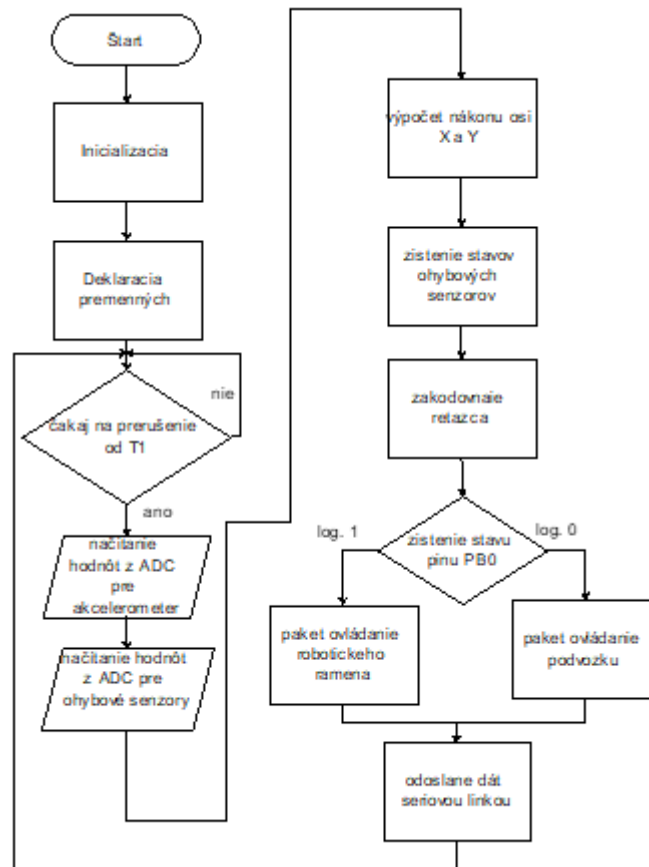
Zmenou ohybu senzora sa mení jeho odpor, ktorý sa následne vyhodnocuje cez odporový delič. Následne sa táto analógová hodnota prevedie cez A/D prevodník na digitálnu hodnotu, ktorá sa ďalej spracováva v riadiacom programe. Na obrázku 8 je znázornená závislosť odporu snímača od uhla ohybu.



Obr. 8 Závislosť odporu snímača od uhla ohybu

### C. Komunikácia a riadenie dátovej rukavice

Základom dátovej rukavice je Mikrokontrolér ATmega 8A-PU, ktorý spracúva signály zo senzorov a odosiela riadiace povely sériovou linkou do bezdrôtového komunikačného modulu. Pre bezdrôtovú komunikáciu dátovej rukavice a mobilného robota sa použil rádiový komunikačný modul RTX-868-FSK. Tento modul obsahuje vysielač a prijímač pracujúci na vysielačom pásme 870Mhz s FSK moduláciou.



Obr. 9 Bloková schéma riadiaceho programu dátovej rukavice.

## V. ZÁVER

Hlavným cieľom tohto príspevku bolo predstaviť spôsob ovládania mobilného robotického ramena pomocou dátovej rukavice. Samotné dátové rukavice sú pomerne drahou záležitosťou, preto pre naše riešenie bola zostrojená vlastná dátová rukavica. Dátová rukavica obsahovala akcelerometer, ktorý bol použitý pre snímanie náklonu. Na základe veľkosti náklonu sa riadil pohyb mobilnej robotickej platformy, t. j. pohyb podvozku v osiach x, y a pohyb samotného robotického ramena. Ovládanie koncového efektora robotického ramena bolo robené pomocou ohybového senzora, ktorý snímalo polohu prstov dátovej rukavice.

## POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-15-0750.

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-16-0206.

Táto práca vznikla s podporou grantu VEGA 1/0187/18.

## LITERATÚRA

- [1] ATmega16 Datasheet. [online] dostupná na internete <<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/78532/ATMEL/ATMEGA16.html>>
- [2] HS-322HD Servo. [online] dostupná na internete <<https://www.servocity.com/hs-322hd-servo>>
- [3] RTX-868-FSK Transceiver. [online] dostupná na internete <[http://www.aurelwireless.com/wp-content/uploads/shortform/650201343G\\_sf.pdf](http://www.aurelwireless.com/wp-content/uploads/shortform/650201343G_sf.pdf)>
- [4] MMA7341LC. [online] dostupná na internete <<https://www.pololu.com/file/0J473/MMA7341LC.pdf>>
- [5] ATmega8 Datasheet. [online] dostupná na internete <<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/80247/ATMEL/ATMEGA8.html>>

# Innovative Solutions to Support the Teaching of Computer Networks

<sup>1</sup>Nikola MÓRICOVÁ, <sup>2</sup>Ondrej KAINZ, <sup>3</sup>Miroslav MICHALKO,  
<sup>4</sup>Rastislav PETIJA, <sup>5</sup>František JAKAB, <sup>6</sup>Roman VÁPENÍK

<sup>1,2,3,4,5,6</sup> Department of Computers and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>nikola.moricova@cni.sk, <sup>2</sup>ondrej.kainz@tuke.sk, <sup>3</sup>miroslav.michalko@tuke.sk,  
<sup>4</sup>rastislav.petija@tuke.sk, <sup>5</sup>frantisek.jakab@tuke.sk, <sup>6</sup>roman.vapenik@tuke.sk

**Abstract** — The study materials used in education on subject of Computer networks were no longer sufficient and up-to-date. The main goal was to create a web solution for this course, with the necessary materials for study. To accomplish this task, the current study materials used in the education were analyzed. Further, the simulation and emulation tools were analyzed. Based on this analysis the most suitable tool was selected and deployed in the educational process. The important role was development of application design and network topologies for individual exercises, based on the Computer networks course. We implemented the application in a specific content management system, adding the relevant content for the networking course. Following the proposal, tasks and configuration solutions were created in the Cisco Packet Tracer simulation tool. The research was used and tested on the very network course itself. Based on questionnaire, students evaluated the designed solution as useful in their study, their home preparation, and the solution leads to an improvement in the understanding of network concepts. Part of this paper covers also the description of developed module for visualization of logical network topology.

**Keywords** — education, computer networks, network topology, router, switch, teaching.

## I. INTRODUCTION

The Computer networks course at the Technical University in Košice includes real networking devices for students to train on. However, these devices are accessible only at special time intervals and are also quickly obsolete. Simulation and emulation tools bypass these issues. They are very good at helping to understand the behavior of the computer network and to improve the practical skills. They also allow simulation of different kinds of topologies and examining how the network or protocols behave under different conditions. At present, books and exercise materials in paper form are no longer sufficient. The area of computer networks is constantly evolving and many resources, textbooks, papers are becoming outdated. The course contains inconsistent materials that are costly and time-consuming to change. The aim of this work is to create a web solution for this course, with the necessary materials for study. A benefit of this solution is always on-line teaching materials, constant access, ease of use etc. Another advantage is that students can leave feedback. It is also available for students who cannot attend to course.

## II. AVAILABLE LEARNING SOLUTIONS

In terms of education [1], many things are often neglected. To suppress these undesirable impacts, the research has been proposed, where one of the countermeasures are also mandatory tasks and remote access to teaching material. It is assumed that the student is able to acquire knowledge from a remote, home location by configuring the topology and by passing the materials. An important factor is the analysis of available study materials used in computer networks courses. The solution must be up-to-date and be accessible to students from anywhere. In the computer networks, it is possible to use simulators and emulators anywhere to practice theoretical knowledge. From this reason it is necessary to analyse the available tools.

### A. Analysis of study materials in learning

At present, books and exercise materials in paper form are often not sufficient for teaching. The area of computer networks has been constantly evolving and many resources, textbooks, papers are becoming outdated. Many students write a supplementary explanation of the instructor and then are losing their attention. The long-term problem of the course is the inconsistency of

materials that are costly and time-consuming to change. Some tutors prepare paper materials and give them directly to the students. Tutors often send homework to students via e-mail or post it to third party websites, and the loss of access cannot be corrected immediately. Due to this fact a suitable solution needs to be found.

### *B. Analysis of simulation and emulation tools*

Simulators and emulators are easy-to-use for exploring network traffic with an acceptable graphical environment. The simulator helps to predict the network behaviour and the emulator lets you imagine real devices. Often, we encounter a problem where students do not have the ability to create demanding topologies with real devices because of the physical limitations. Thanks to these tools, the need to buy the costly real devices is suppressed. Another advantage is saving of time because they allow for a short-time to simulate process that may actually take several hours. Examples are simulators NS-2, NS-3, Opnet, OMNET++, Cisco Packet Tracer and GNS emulator.

- **NS-2** [2] is a simulation tool designed for network communication. Its main function is to create and link nodes and then pass packets from one node to another. The great advantage of this simulator is its availability and free resources. The NS-2 [3] is supported under both Windows and Linux. It consists of 2 key languages, which are C++ and Otcl. But it is difficult to solve problems with C++, and the user interface is hardly going to reality.
- **NS-3** is a simulation tool that replaced the NS-2 and is not backward compatible. It is freely available and also has free resources. The main goal [4] is that approaches the real implementation of the software. Problems [5] are much easier to solve than in NS-2. Based on the NS-2 architecture is also not suitable for students.
- **OPNET Modeler** [6] is one of the most popular packages. This product allows you to monitor computer network with built-in modules of various communication devices, lines and protocols. The disadvantage is the high price. Also, its complex functionality and strong programmable interfaces can be difficult to understand for students. It is supported on both Linux and Window. An advantage is its rich documentation that comes with the software.
- **OMNET++** is also a simulator that is freely available but only for non-profit purposes. For commercial purposes, you need to obtain OMNEST licenses. The simulator [7] is a C++ compiler-based modular simulation library. It is also supported on various operating systems such as Linux and Windows. The components [8] are called modules that are programmed in C++. It contains a custom domain specific language called NED that is used to describe the modules.
- **Cisco Packet Tracer**, unlike any of the mentioned simulators, is directly intended for educational purposes for students and instructors included in Cisco Networking Academy programs. The simulator [9] is executable on both Linux and Windows operating systems. The simulator [10] has a choice of logical and physical environment. The logical environment allows you to create your own topologies, device settings, and their configurations. You can choose from a number of devices such as switches, routers, end stations, various types of connection media and more. A great advantage is the ability to configure with CLI, which is almost identical to the real terminal. Physical environment shows how the network should look in a real environment, it is possible to build cities and connect them to each other. The advantage of a user-friendly environment is the ability to switch between simulation mode and real-time mode. In real-time mode, the network is always functional as it would be realized by real devices. After switching to the simulation mode, we have the possibility to monitor the passage of data between individual devices and at each step students can see what is happening with the data being transmitted. This program, as the only one selected, contains a useful activity wizard that allows instructors to create tasks and practical examinations for students.
- **GNS** is a network emulator that is freely available. This emulation tool [11] can be installed on both Linux and Windows. The installer contains several useful programs like Wireshark, PuTTY, VPCS. For virtualization it is also possible to install VirtualBox. Unlike simulators, it is essential to have a powerful computer that contains a lot of memory and enough free space. Configuration of the switches is not possible. Routers have to contain real Cisco IOS and disadvantage can be the processor load.

### *C. Result of analysis*

Following the analysis we created and implemented the configuration topologies for students. Bearing in mind this fact it is necessary to work with freely available software. It is also very important choose easy operative tool and similar to reality. Based on the analysis the Cisco Packet Tracer was selected.

### III. DESIGN OF NETWORK TOPOLOGIES

The aim of this part is design of the network topologies. The first step was to find the most important areas of the Computer network course. These areas are published on the Computer Networks Laboratory web portal, where the official timetable for the exercise can be found. Students gain new practical experience and knowledge each week and some repeat from previous exercises. The following areas will be divided into 10 exercises based on the above-mentioned official timetable:

1. Students will get familiar with 4 types of interconnect media used for exercises and will learn navigation between Cisco IOS modes. First, they try configuration of clock.
2. In this section, students learn how to configure device's name, banner and assignment of IP addresses on the interface with description. They also configure encrypted and unencrypted remote connection to devices (SSH, Telnet). There will be also included additional commands to turn off automatic translation of the unrecognized command to a local host name and another one for synchronous output from the console.
3. The subject of the task is to divide one network into several subnets with a fixed mask.
4. During exercise, they will use knowledge learned from the previous exercises (assigning IPv4 addresses to devices) and learn how to divide network into several subnet with variable mask. Important will be identification of the switch on the network. They learn command for discovering directly connected neighbours.
5. An important point in this section is static and default route (IPv4 and IPv6). The loopback interface will be used for testing purposes. The allocation of IP addresses is known from previous exercises.
6. Students learn how to fill the routing table with information about remote networks, how to bring into table static and default route (RIP and RIPng dynamic routing protocols). It is also necessary to assign IP addresses to the devices, which they know from the previous parts.
7. The subject will be the configuration of the VLAN and dividing the switch into multiple logical switches. Students learn trunk and access commands. They learn a mechanism for enabling network access on the switches. The allocation of IP addresses is known from previous part.
8. The main goal will be to introduce a router-on-a-stick concept and related exercise of previous VLAN.
9. Students will be able to configure DHCP (IPv4 and IPv6) for end devices. Also, they learn standard numbering and naming access lists with their subsequent implementation on the interface or SSH/Telnet.
10. At last, students implement address translations namely static and dynamic NAT, PAT. In addition, students store logging messages from the device to the server and learn about a protocol that discovers neighbors not just between Cisco devices.

Based on these assumptions, 5 more complex topologies will be created, which break down to individual exercises. The individual parts of the created topologies will then be implemented to web application, and students will be able to download these topologies.

### IV. REALIZATION OF SIMULATION OF NETWORK TOPOLOGIES

The realization of the created topologies was done in the Cisco Packet Tracer simulator. In this program, we created the required topologies as designed above. Selected switches were type of C2960 and routers 2811, extension modules may be added in some cases. Switches of this type are the most affordable and most commonly used. These devices are sufficient for given course. Also, they have the interfaces that we use in the learning process (24 FastEthernet, 2 GigabitEthernet). The router contains two FastEthernet interfaces in the default settings, but can be modified with additional modules. These types of network devices are in the lab, which suggests their choice. The module was used with the serial line to achieve interconnection of the routers. Connecting the switch with the router and the end station was achieved by using straight through cable. The crossover medium was used to link the router to the end device. The Cisco PT file includes the proposed network topology and the prepared tasks for the students along with the solution. The solution shown in the task is needed for the students to be able check their configuration. Cisco PT files were uploaded to a web solution in the form of a downloadable link.

### V. DESIGN AND IMPLEMENTATION OF THE VISUAL MODULE

The educational web solution also includes a visual module that is for administrator. The visual module allows creating the topology. It contains five buttons that represent the devices (computer, server, switch, internet and router), one button for connection and canvas. The



administrator can then place the device to the canvas by clicking on the button and then connecting them. Individual elements can be edited, and final topology can be saved.

The visual module for creating topology is implemented in the programming language **JavaScript** and uses the freely available library named **vis.js**. Also, the design library **Bootstrap** was implemented for styling of user interface. Everything is completed by CSS and the script in which our functions are located. Module is divided into 2 parts: the buttons and the canvas. After the device button is pressed one of the created functions (*addPC()*, *addRouter()*, *addSW()*, *addServer()* or *addInternet()*) is activated, and then the object is passed into the canvas. By calling *addConnection()*, we get the objects into the connecting mode. In order to form a connection, the user moves mouse pointer from one device to the another. Editing allowed and includes renaming/deleting object or a link between them. After entering the name, the function *saveDevice()/saveCable()* is called, which renames the element and then closes the open window. The Delete button removes the selected element along with the link or the link itself by using the *deleteDevice()/deleteCable()* function. The mouse right click enables the created topology to be saved in the PNG image file format. The module was deployed to CMS WordPress.

## VI. EVALUATION

The web application was tested throughout the development by students on the Computer networks course. We observed the ease of use and we have also put great emphasis on prepared teaching materials, their use, if materials are sufficient to understand networking concepts. The application was actively used on three exercises and we tested its simplicity, clarity and teaching materials. Students in other exercises used it at home. The web solution is divided into exercises for each week, which is one week per single exercise. At the beginning of each exercise, the task was explained, and the students connected the devices according to the displayed logical topology. The instructor always explained the issues and the commands to be executed. Everything has been available online, thus the students have the opportunity to come back to problems they did not understand or missed. Cisco PT files were attached to the five exercises, were also used, whether for homework or directly on the exercise. These files have helped many students in their study.

Verification was also carried out with the support module that was deployed to CMS WordPress. Using the third-party tool, we were able to find out how many users used the app on a particular day, how many connections were made, how long they lasted and so on. As an example, we listed the 28-day visit shown in Fig.1. From the graph we can see the developed solution was useful. The students used it most during the week and on Sunday. In one day, a maximum of 82 students visited portal (this is almost half of the students from all the exercises), thus we can conclude that the application was also useful outside the exercises. Based on the statistics of the installed support module, the web application was used by 392 users and the page was viewed 9,496 times.

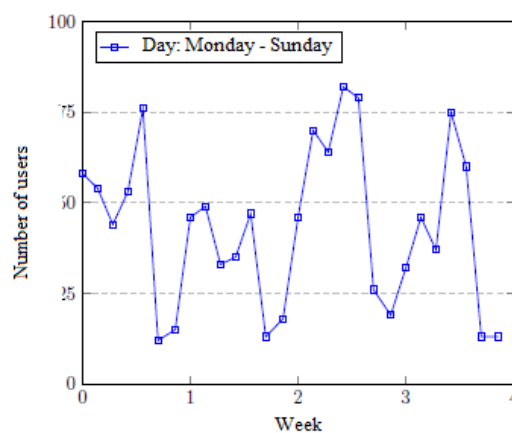


Fig. 1. Graph of using the application

The component of verification was also a questionnaire filled out by 60 students. In this questionnaire they answered 8 questions and in one they had the opportunity to write their personal comments and notes. Based on the questionnaire, we can conclude that the user interface of web application and orientation were simple. Evidence is the answer to the question whether students had problems with the orientation/outlook of the application. 59 students responded negatively and one positive. Another question was to use the web application outside of the exercise where 96.7% of students used it and 3.3% did not. At total, 50 students responded positively to the question if application was helpful in learning, seven students did not comment

and to the three it did not help. We also asked how many times they used the web solution. The responses were different, the solution was most commonly used before course at a frequency of 2 to 3 times per week, from which it can be deduced that the web application has a beneficial nature. Other important questions were whether they worked with the attached Cisco PT files and how many of them were used. The total number of files was five and their use is shown in Fig. 2. The graph shows that a significant proportion of students used all files (45% of students), but there were also students who did not use them at all. At least one was used by 83.4% of students and only 16.7% did not use any. The important finding was the fact that 28 students downloaded all the files, and 51 of them at least one file. The last step was to evaluate the materials available on the portal, such as topic explanations, configuration commands, Cisco PT files etc. The work has positive reactions. The last step was to write students notes. The students stated that the prepared materials were beneficial. The system is easy to use and has a simple orientation. Materials are helpful and have educational nature. Another advantage is the ability to prepare to the next exercise, with ready curriculum, commands and Cisco PT files. The benefit of the tasks is the ability to understand the topic and what is expected from the technology, what the student should remember and be able to configure. Students would like to have these pre-prepared files for each exercise. They reviewed the site as being sufficiently documented.

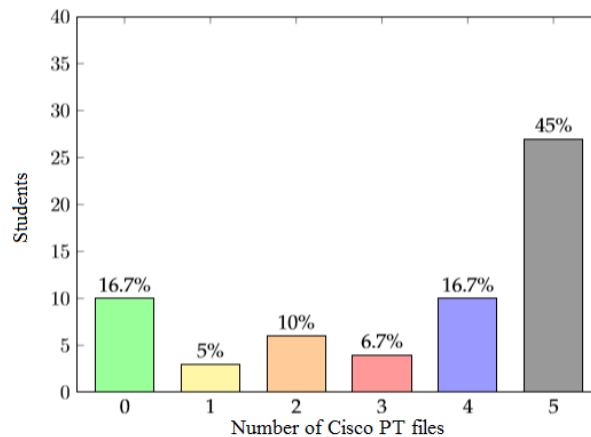


Fig. 2. Graph of using topologies in Cisco PT

The questionnaire was filled out also by instructor who taught Computer networks course with the active use of our web application with materials. The generated web solution was evaluated very positively, mainly on the basis of the following reasons in the questionnaire:

- Materials simplified training and saved time for the instructor, it was not necessary to read curriculum material because they were always up-to-date and used as a syllabus during the exercise.
- Thanks to topologies, tasks and commands, more skilled students could go ahead independently during the exercise and other students could see the configuration in case of problems.
- The available list of commands saved time because students did not have to write notes. As a result, their attention and cooperation were improved.
- The instructor assessed the work positively on the basis of his own experience, with improvement over the previous year.

The last part was the creation of a support module for CMS Wordpress, which was tested during the development and according to the requirements developed. It was also tested after completion and did not have any major problems.

## VII. CONCLUSION

The main goal of the research was to create a web application with material to support Computer networks course. Part of research covered design and implementation of the visual module, which allows creation of logical network topologies. The most important step from the pedagogical point of view was the design of network topologies based on the concepts of Computer networks course. In the next stages of the project, topology was created with the necessary tasks, notes and configuration files for the students for each exercise. According to proposed topologies, we created Cisco PT files with relevant tasks and commands. The last step was to verify the proposed solution. The application was actively used on three experimental exercises. Students filled out a questionnaire, which gives us their views on this work and the

materials. These views were positive, and all evaluated the developed materials as beneficial to their study. The advantage was seen in a detailed explanation of the issue and especially in Cisco PT files that they used for home preparation. In this case, the test subject was also an instructor who taught Computer network course and was actively utilizing the proposed web-based solution. The created web app was rated very positively, mainly based on the materials that improved student attention and collaboration. The instructor also observed an improvement when compared to the previous year.

#### ACKNOWLEDGMENT

This paper is supported by grant project 011STU-4/2017, granted by the Cultural and Education Grant Agency of the Slovak Ministry of Education.

#### REFERENCES

- [1] O Kainz et al. "Approaches and measures to enhancement of computer networks courses". In: *Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA), 2014 IEEE 12<sup>th</sup> International Conference on*. IEE. 2014, s.227-232.
- [2] Eitan Altman a Tania Jimenez. "NS Simulator for beginners". In: *Synthesis Lectures on Communication Networks* 5.1 (2012), s. 1-184.
- [3] Teerawat Issariyakul a Ekram Hossain. *Introduction to network simulator NS2*. Springer Science & Business Media, 2011.
- [4] Klaus Werhle, Mesut Günes a James Gross. *Modeling and tools for network simulation*. Springer Science & Business Media, 2010.
- [5] Anbao Wang a Wenrong Jiang. "Research of teaching on network course based on ns-3". In: *Education Technology and Computer Science, 2009. ETCS'09. First International Workshop on*. Zv. 2. IEEE. 2009, s. 629-632.
- [6] Theng Lu a Hongji Yang. *Unlocking the power of OPNET modeler*. Cmabridge University Press, 2012.
- [7] Thomas Chamberlain. *Learning OMNeT++*. Packt Publishing Ltd., 2013.
- [8] Vinita Mishra a Smita Jangale. "Analysis and comparison of different network simulators". In: *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management* (2014).
- [9] A Jesin. *Packet Tracer Network Simulator*. Packt Publishing Ltd., 2014.
- [10] Jozef Janitor, František Jakab a Karol Kniewald. "Visual learning tools for teaching/learning computer networks: Cisco networking academy and packet tracer". In: *Networking and Services (ICNS), 2010 Sixth International Conference on*. IEEE. 2010, s. 351-355.
- [11] Jason C neumann. *The Book of GNS3: Build Virtual Network Labs Using Cisco, Juniper, and More*. No Starch Press, 2015.

# Modelovanie nelineárnej dynamickej sústavy na báze fuzzy logiky

<sup>1</sup>Daniela PERDUKOVÁ, <sup>2</sup>Pavol FEDOR

<sup>1,2</sup> Katedra elektrotechniky a mechatroniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>daniela.perdukova@tuke.sk, <sup>2</sup>pavol.fedor@tuke.sk

**Abstrakt** — Článok sa zaoberá metodikou získavania jednoduchého fuzzy modelu nelineárnej dynamickej sústavy, o ktorej máme len externé informácie ( t.j. namerané závislosti medzi vstupmi a výstupmi ) a ukazuje jednu z možností jeho využitia pre účely riadenia na báze inverzného fuzzy modelu. Uvádzaná metodika je vysvetlená na jednoduchších príkladoch a v závere sú uvedené výsledky jej aplikácie pre riadenie pohonu s asynchrónnym motorom. Experimentálne merania na sústave striedavý menič – AM realizované prostredníctvom Real Time systému potvrdili správnosť a funkčnosť navrhnutých metodiky, ktorá môže byť použitá aj pre iné nelineárne systémy.

**Kľúčové slová** — fuzzy modelovanie a riadenie, riadenie asynchrónneho motora, inverzný fuzzy model

## I. ÚVOD

Fuzzy prístup k popisu a riadeniu dynamických sústav zaznamenáva v poslednom období značný rozvoj. Filozofia popisu sústav na základe ich kvalitatívnych vlastností umožňuje nachádzať pomerne jednoduché a prakticky použiteľné modely aj zložitých nelineárnych sústav, pravda za cenu určitej nepresnosti v ich popise [1-3]. Problémom je získavanie popisu týchto kvalitatívnych vlastností na základe experimentálnych údajov, ktoré vedie pri apriórnej neznalosti parametrov a štruktúry popisovanej sústavy obvykle k nekonzistentnej databáze údajov, problémom pokrytia celého možného priestoru vstupov fuzzy systému a pod [4]. Takto získaný fuzzy model je potom veľmi často prakticky nepoužiteľný, aj keď pri inej voľbe získavania údajov, resp. pri vhodnom výbere „vhodných“ údajov z databázy je možné zostaviť model takéhoto neznámeho nelineárneho systému.

Článok popisuje metodiku získania zjednodušeného modelu nelineárnej dynamickej sústavy a jeho využitie pre jej fuzzy linearizáciu, ktorá následne umožňuje navrhnuť jej riadenie pomocou štandardných metód pre lineárne systémy.

## II. POPIS PROBLÉMU

Predpokladajme, že hľadáme zjednodušený fuzzy popis nelineárnej dynamickej sústavy s jedným vstupom  $u$  a jedným výstupom  $y$ , ktorej popis je v tvare

$$\frac{dx}{dt} = \mathbf{H}(u, x) \quad (1)$$

$$y = x_1 \quad (2)$$

$$\mathbf{H} = [h_1, h_2, \dots, h_n] \quad (3)$$

kde funkcia  $\mathbf{H} = [h_1, h_2, \dots, h_n]^T$  je neznáma nelineárna spojité funkcia,  $x$  je stavový vektor a  $n$  je rád sústavy. Predpokladajme, že sledovanou a meranou výstupnou veličinou sústavy je prvá stavová veličina, teda  $y=x_1$ . Túto sústavu chceme nahradiť zjednodušenou dynamickou sústavou 1. rádu v tvare

$$\frac{dx}{dt} = f(u_m, x) \quad (4)$$

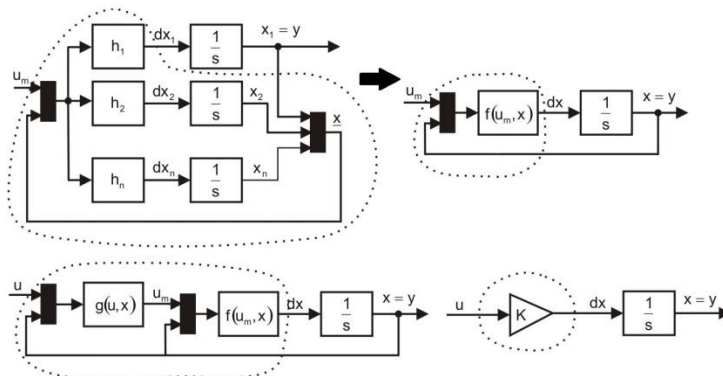
$$y = x \quad (5)$$

v ktorej  $f(u_m, x)$  je neznáma nelineárna funkcia, získaná vhodným meraním na sústave (1). Kritérium pre náhradu je čo najlepší podobnosť dynamických odoziev systémov (1) a (4) pre totožné vstupné veličiny  $u$ .

Ďalej hľadáme funkciu  $g(u, x)$  takú, ktorá vyhovuje nasledujúcej podmienke:

$$\frac{dx}{dt} = f(g(u, x), x) = Ku \quad (6)$$

Týmto postupom získame z nelineárneho systému (1) „približne“ lineárny systém, ktorého dynamiku (deriváciu) výstupnej veličiny  $y \equiv x$  vieme priamo riadiť vstupom  $u$ . Názorne ukazuje tento postup Obr.1.



Obr. 1 Postup fuzzy linearizácie nelineárneho systému s jedným vstupom a jedným výstupom

**Príklad 1:** Uvažujme jednoduchý nelineárny dynamický systém 1. rádu v tvare

$$\frac{dx}{dt} = u_m - \sin(x) \quad (7)$$

V tomto prípade je zrejme, že  $H=f=(u_m-\sin(x))$ . Pri voľbe funkcie  $g$  v tvare  $g=(Ku + \sin(x))$  platí

$$\frac{dx}{dt} = g(u, x) - \sin(x) = Ku + \sin(x) - \sin(x) = Ku \quad (8)$$

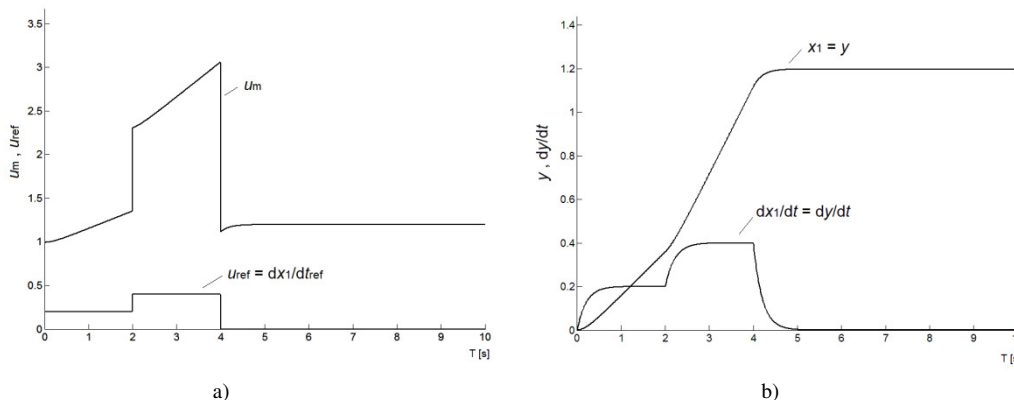
čo zrejme vyhovuje presne podmienke v rovnici (6). V tomto jednoduchom prípade sa jedná o linearizáciu systému 1. rádu, uvedený problém je riešiteľný analyticky a linearizácia je úplná.

**Príklad 2:** Uvažujme systém 2. rádu v tvare

$$\frac{dx_1}{dt} = x_2 \quad (9)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = -x_1 - 5 \sin(x_2) + u_m \quad (10)$$

V tomto prípade vstup  $u_m$  nepôsobí na 1. deriváciu výstupu  $y$  priamo, ale cez podsystem stavovej veličiny  $x_2$ , preto realizovať úplnú linearizáciu systému (9-10) pomocou systému (6) nie je možné. Ak zanedbáme dynamiku podsystemu stavovej veličiny  $x_2$ , t.j. budeme predpokladať  $dx_2/dt=0$ , potom tento systém (predpokladajme pre jednoduchosť  $K=1$ ) bude približne linearizovať napr. funkcia  $g=(x_1+5\sin(u))$ , ako to ukazujú dynamické odozvy systému (9-10) na Obr.2.



Obr. 2 Odozvy linearizovaného systému (9-10) pre žiadané skoky  $dx_1/dt$   
a) – funkcia  $g=(x_1 + 5\sin(u))$   
b) – výstup sústavy  $y$  a jeho derivácia

Algoritmus celého postupu môžeme zhrnúť do nasledujúcich krokov:

- Z vhodne nameranej databázy vstupov a výstupov systému (1-3) je potrebné určiť náhradnú funkciu  $f$  pre celý priestor vstupov a výstupov.
- Z predpísanej žiadanej rovnice (6) a funkcie  $f$  musíme určiť funkciu  $g$ , ktorá pokrýva celý pracovný priestor výstupu systému a jeho derivácie.

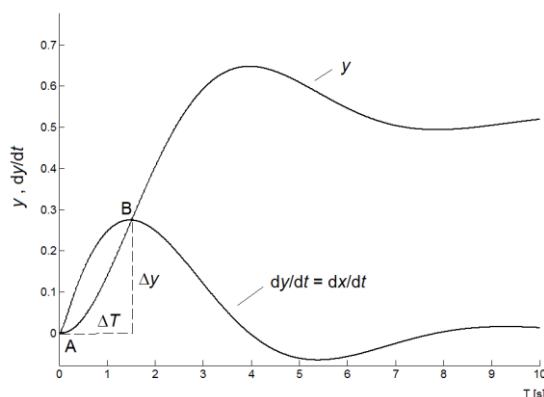
### III. METODIKA URČENIA FUNKCIE $F(U_M, X)$

Základným predpokladom pre nasledujúcu identifikáciu sústavy (1-3) je, že je stabilná a pri konštantnom vstupe  $u_m$  sa jej výstup ustáli po doznení prechodových dejov na konštantnej hodnote  $y$ . To znamená, že z jedného nameraného prechodu sústavy (1-3) z ustáleného stavu A do iného ustáleného stavu B pri konštantnom vstupe  $u_m$  vieme určiť jednu reláciu medzi príslušnou trojicou hodnôt  $[u_m, y, dx/dt]$ , čiže jeden bod funkcie  $f$ . Databáza nameraných údajov pre identifikáciu funkcie  $f$  by mala pokrývať celý pracovný priestor dvojíc  $[u_m, y]$ , čiže je potrebné namerať potrebné prechody medzi ustálenými stavmi v tomto priestore. Ak rozdelíme vstupný priestor  $u_m$  a tým aj priestor zodpovedajúcich ustálených výstupov (1) na  $n$  častí, potom počet potrebných nameraných odoziev bude rovný počtu variácií 2. triedy z  $n$  prvkov

$$V_2(n) = \frac{n!}{(n-2)!} \quad (11)$$

Poznamenajme, že zatiaľ čo os vstupnej veličiny  $u_m$  môžeme rozdeliť rovnomerne v celom rozsahu, os výstupnej veličiny  $y$  sa rozdelí vo všeobecnosti nerovnomerne podľa konkrétnej sústavy (1-3).

Pretože systémy vyššieho rádu (1-3) obvykle aproximujeme systémom (4-5), ktorý je 1. rádu, je potrebné ešte pre každú jednotlivú nameranú odozvu určiť čo najlepšie jej zodpovedajúcu hodnotu  $dx/dt$ . Jeden z možných vhodných postupov je ukázaný na Obr.3, kde sa začiatok prechodu sústavy (1-3) z ustáleného bodu A nahradzuje takým konštantným zrýchlením  $dx/dt = \Delta y / \Delta T$ , ktoré zodpovedá prechodu sústavy (4-5) do bodu B. Bod B sa volí ako prvý extrém priebehu  $dx/dt$  po začiatku prechodu.



Obr. 3 Určenie náhradného zrýchlenia sústavy na začiatku prechodu do nového ustáleného stavu

**Príklad 3:** Uvažujme systém s rovnicami

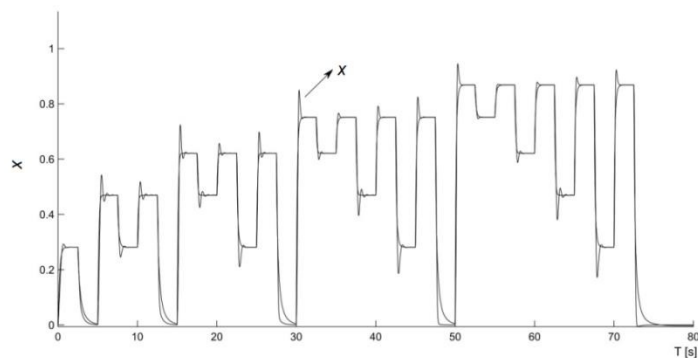
$$\frac{dx_1}{dt} = x_2 \quad (12)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = -(22 + 15 \sin(-3.5x_1))x_2 - (40 + 60x_1)x_1 \quad (13)$$

Rozdelíme vstupný priestor  $u_m$  na 6 úrovní s hodnotami  $[0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1]$ . V tomto prípade je potrebné na merať 30 prechodov medzi ustálenými stavmi a z nich určiť identifikačné body pre funkciu  $f$ , ktoré slúžia ako vrcholy pre zostavenie fuzzy popisu (modelu) funkcie  $f$ , ktorú sme získali pomocou nástroja *Anfisedit* programu Matlab. Na generovanie fuzzy systému bola použitá metóda *Sub. Clustering* [5-6] s nasledujúcimi parametrami:

*Range of influence* = 0,3; *Squash factor* = 1; *Accept ratio* = 0,3; *Reject ratio* = 0,05. Funkcia  $f$  je reprezentovaná fuzzy systémom typu Sugeno s 15 pravidlami.

Porovnanie odoziev pôvodného systému a jeho fuzzy modelu na identifikované prechody je na Obr.4.



Obr. 4 Porovnanie dynamickej sústavy a jej fuzzy náhrady podľa príkladu 3

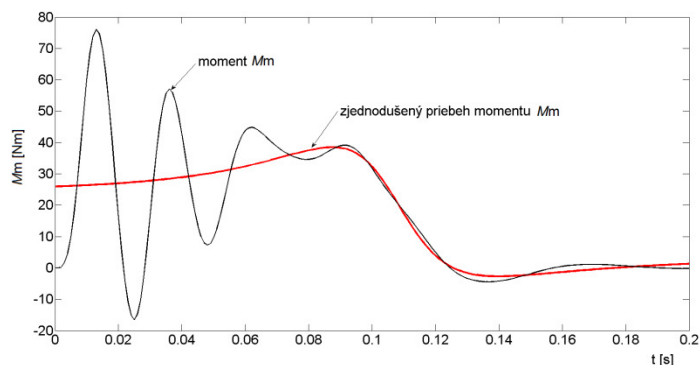
#### IV. EXPERIMENTÁLNE VÝSLEDKY

Uvedená metodika bola použitá na získanie fuzzy modelu pohonu s asynchrónnym motorom [7-8] s parametrami podľa Prílohy. Asynchrónny motor (AM) predstavuje nelineárny systém 5. rádu, ktorého štruktúra je na Obr. 5, kde  $u_x$ ,  $u_y$  sú zložky vektora statorového napätia  $U_1$  v rotujúcej súradnicovej sústave  $x, y$  a  $\omega_1=2\pi f$  je jeho kruhová frekvencia.



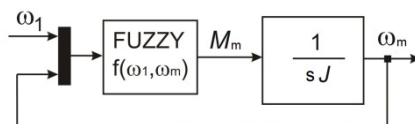
Obr. 5 Štruktúra systému s asynchrónnym motorom

Nelineárna časť AM predstavuje systém štvrtého rádu, pre ktorý je potrebné navrhnuť fuzzy model podľa metodiky uvedenej v Kap. 3. Na Obr.6 je zobrazený priebeh momentu AM pre skok žiadanej rýchlosti z 0 na 100%. Pri náhrade systému štvrtého rádu systémom prvého rádu, dochádza k zanedbaniu rýchlych elektromagnetických dejov prebiehajúcich v motore v dôsledku čoho sa priebeh momentu AM zjednoduší a bude predstavovať krivku reprezentujúcu jeho strednú hodnotu, ktorá je na Obr. 6 zobrazená červenou farbou.



Obr. 6 Priebeh momentu AM a jeho zjednodušený priebeh

Štruktúra fuzzy modelu AM je na Obr. 7.

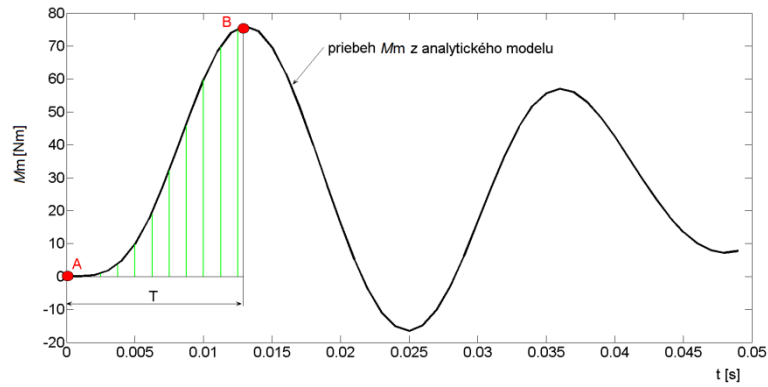


Obr. 7 Štruktúra fuzzy modelu pohonu s asynchrónnym motorom

Pre identifikáciu funkcie  $f$  potrebujeme určiť tzv. štartovací bod, čo je počiatočná hodnota zjednodušeného priebehu jeho momentu, ktorú môžeme napríklad vypočítať ako strednú hodnotu z priebehu skutočného momentu v rozsahu od nuly po prvé maximum tak, ako je to zobrazené na Obr.8. Matematicky je to možné zapísať ako

$$M_{\text{start}} = \frac{1}{T} \int_A^B M_m dt \quad (14)$$





Obr. 8 Určenie štartovacieho bodu

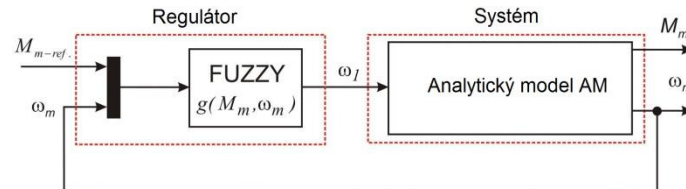
Pracovný priestor sme rozdelili pravidelne do 6 úrovní. Výsledkom prechodových dejov medzi každou úrovňou je jeden štartovací bod identifikovaný podľa vzťahu (14). Úplná databáza štartovacích bodov pre zostavenie fuzzy modelu AM je zobrazená v Tab.1.

Tab.1 Identifikované body funkcie  $f$

| $\omega_1 \backslash \omega_m$ | 0%  | 20% | 40% | 60% | 80% | 100% |
|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 0%                             | 0   | -18 | -34 | -44 | -50 | -54  |
| 20%                            | 7,4 | 0   | -20 | -37 | -48 | -53  |
| 40%                            | 15  | 25  | 0   | -24 | -46 | -55  |
| 60%                            | 27  | 27  | 28  | 0   | -26 | -50  |
| 80%                            | 27  | 29  | 34  | 32  | 0   | -27  |
| 100%                           | 25  | 23  | 29  | 35  | 39  | 0    |

Funkcia  $f$  bola v tomto prípade tvorená fuzzy systémom typu Sugeno so siedmimi pravidlami.

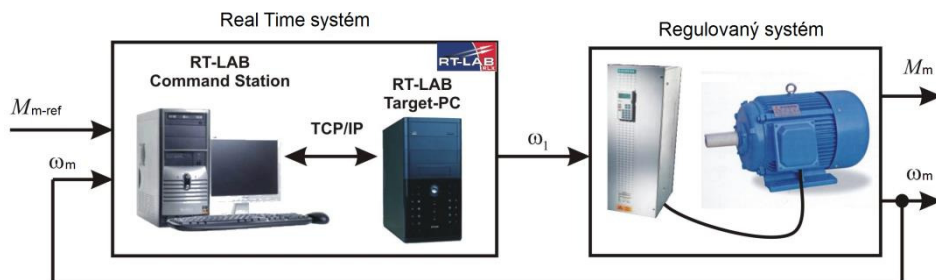
Tento model bol použitý pre riadenie žiadaného momentu asynchrónneho motora ( $M_{m-ref}$ ) v riadiacej štruktúre postavenej na báze inverzného fuzzy modelu tak, ako je to zobrazené na Obr. 9.



Obr. 9 Regulačná štruktúra na báze inverzného fuzzy modelu.

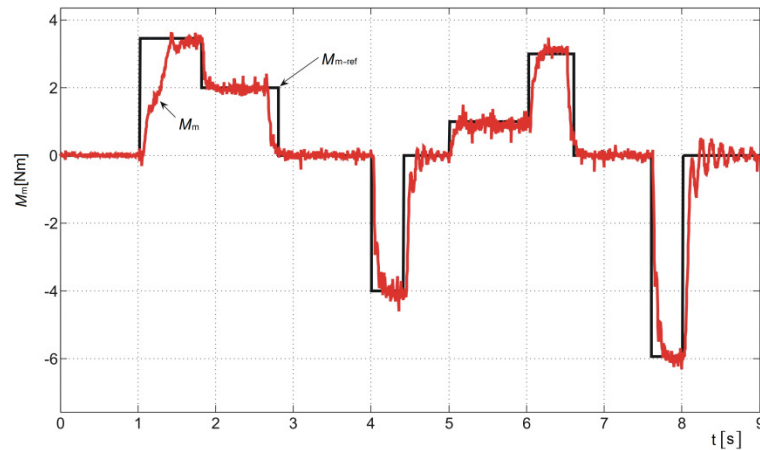
Funkcia  $g$  je inverznou funkciou k funkcii  $f$ . Pri vytváraní inverznej funkcie je potrebné správne definovať pracovnú oblasť, pre ktorú sú jednoznačne určené všetky body inverznej funkcie  $g$ .

Riadenie na báze inverzného modelu bolo realizované prostredníctvom Real Time systému *OPAL RT – LAB*. Tento systém reálneho času umožňuje konvertovať model vytvorený v Simulinku do simulácie bežiacей v reálnom čase. Štruktúrálna schéma realizačného pracoviska je zobrazená na Obr. 10.



Obr. 10 Štruktúrálna schéma realizačného pracoviska

Typické namerané regulačné odozvy momentu sú na obr.11.



Obr. 11 Porovnanie nameraných odoziev momentu so žiadanými hodnotami

## V. ZÁVER

V článku je uvedený metodický postup získavania fuzzy modelu nelineárnej sústavy z nameraných údajov bez potreby poznať jej vnútornú štruktúru a parametre. Ukazuje sa, že tento postup je úplne algoritmickejšie a získaný fuzzy model je možné použiť aj pre pomerne kvalitné riadenie zložitých nelineárnych systémov, akým je napr. aj pohon s asynchrónnym motorom. V budúcnosti by bolo vhodné aplikovať túto metodiku aj na iné typy nelineárnych systémov s podobnými vlastnosťami, pre ktoré je ich identifikácia a riadenie štandardnými metódami obtiažna, prípadne až nemožná.

## PRÍLOHA

Parametre AM:

$$\begin{aligned}
 P_N &= 15 \text{ kW} & M_N &= 98,8 \text{ Nm} & U_{1N} &= 220 \text{ V} & J &= 0,11 \text{ kgm}^2 & I_{1N} &= 29,5 \text{ A} & r_1 &= 0,267 \Omega \\
 n_N &= 1450 \text{ rev/min} & r_2 &= 0,54 \Omega & n_p &= 2 & L_h &= 96 \text{ mH} & M &= 0,064 \text{ H} \\
 R_1 &= 0,178 \Omega & R_2 &= 0,36 \Omega \\
 L_{S1} &= L_{S2} = 2,75 \text{ mH} \\
 K_{11} &= 277,08 \text{ H}^{-1} \\
 K_{12} &= -269 \text{ H}^{-1} & \omega_2 &= \omega_1 - \omega_g \\
 \omega_0 &= K_{11} (R_1 + (M^2/L_2) \cdot \omega_g) = 143,33 \text{ s}^{-1} \\
 \omega_g &= 5,46 \text{ s}^{-1} \\
 n_p &= 2
 \end{aligned}$$

## POĎAKOVANIE

Táto práca vznikla s podporou grantu VEGA 1/0187/18.

## LITERATÚRA

- [1] R. Babuška, H.B. Verbruggen, H. Hellendoorn, "Promising Fuzzy Modeling and Control Methodologies for Industrial Applications. In: *Proceedings European Symposium on Intelligent Techniques ESIT'99*, Greece, Crete, 1999, AB-02.
- [2] J. Singh, N Singh and J. K. Sharma, "Fuzzy modeling and identification of intelligent control for refrigeration compressor." *Journal of Scientific & Industrial Research*, 65(01), 2006, pp. 22-30.
- [3] D. Leite, R. M. Palhares, V. C. Campos and F Gomide, "Evolving Granular Fuzzy Model Based Control of Nonlinear Dynamic Systems," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 23(4), 2015, pp. 23-938.
- [4] X. Liu, Z. Xioung, L. Chen and Z. Zhu, "A new Takagi-Sugeno fuzzy approach of process modeling and fault detection," in: *35th Chinese Control Conference – CCC*, IEEE, 2016, pp. 7126–7130.
- [5] R.A. Ramadan, "Clustering based fuzzy logic for multimodal sensor networks: A preprocessing to decision fusion," *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 2(3), 2010, pp. 271-286.
- [6] W. Tang, Z. Rui, H. Jiang and H. Gao, "Coagulation control fuzzy modeling based on cluster analysis and optimization technique," in: *35th Chinese Control Conference (CCC)*, IEEE, 2016, pp. 2154-2159.
- [7] M.M. Krishan, "Fuzzy Sliding Mode Control with MRAC Technique Applied to an Induction Motor Drives". *International Review of Automatic Control (IREACO)*, Praise Worthy Prize, 1(1), 2008, pp.42-48.
- [8] J. Vittek, S.J. Dodds, *Forced Dynamics Control of Electric Drives*. University of Zilina, 2003.

# Použitie metód hlbokého učenia na analýzu dát v astrofyzike

<sup>1</sup>Viera Maslej Krešňáková, <sup>2</sup>Peter Butka

<sup>1,2</sup>Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>viera.maslej.kresnakova@tuke.sk, <sup>2</sup>peter.butka@tuke.sk

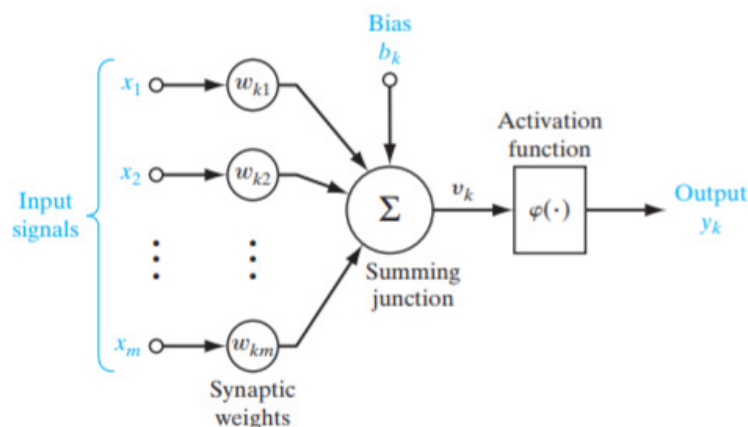
**Abstrakt** – Tento príspevok poskytuje prehľad o používaní metód hlbokého učenia v astrofyzike. Zameriava sa na rozhodovacie úlohy ako klasifikácia svetelných kriviek, klasifikácia gravitačných vln pri detekcii čiernych dier a klasifikácií *glitches*, klasifikácia astronomických obrázkov gravitačných šošoviek či galaxií a odhad fotometrických červených posunov.

**KLúčové slová** – strojové učenie, hlboké učenie, neurónová sieť, astrofyzika, analýza dát

## I. ÚVOD

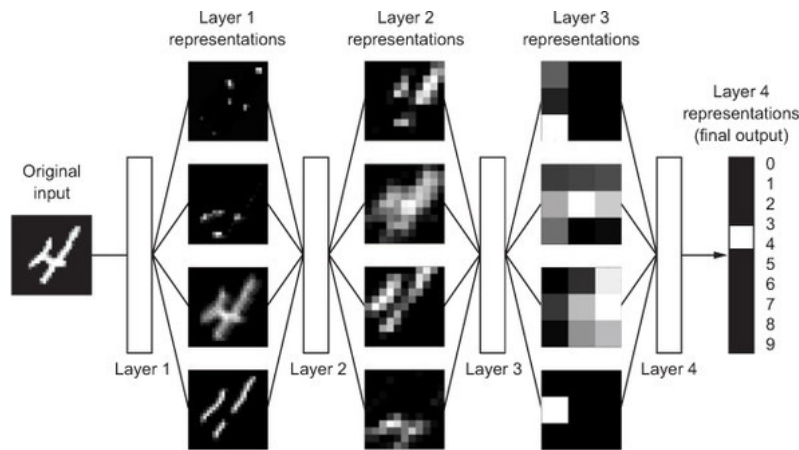
Hlboké učenie umožňuje výpočtovým modelom, ktoré sa skladajú z viacerých vrstiev, aby sa naučili reprezentácie údajov s viacerými úrovňami abstrakcie. Tieto metódy dramaticky zlepšili stav techniky v oblasti rozpoznávania reči, rozpoznávania vizuálnych objektov, detekcie objektov a mnohých ďalších domén, ako je objavovanie liekov a genetika. Hlboké učenie zistí zložitú štruktúru vo veľkých množstvách dát a pomocou algoritmu spätného šírenia označení, ako by mal stroj zmeniť svoje interné parametre, ktoré sa používajú na výpočet reprezentácie v predchádzajúcej vrstve, a to v každej jednej vrstve modelu.

Hlboké *konvolučné* siete priniesli prelom v spracovaní obrazov, videa, reči a zvuku, zatiaľ čo *rekurentné* siete zažiarili pri spracovaní sekvenčných dát ako je text a reč [1]. Hlavným cieľom tejto práce je štúdium využívania metód hlbokého učenia na podporu rozhodovacích procesov v astrofyzike a poskytnúť najaktuálnejší prehľad existujúcej aplikácie hlbokého učenia pre rôzne úlohy v astrofyzike.



Obr. 1 Základný model neurónu

Neurón je jednotka na spracovanie informácií, ktorá tvorí základ pre operácie v neurónových sieťach. Neurón, zobrazený na Obr. 1 prijíma vstupné signály  $\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_{n+1})$  cez synaptické váhy, ktoré tvoria vektor  $\bar{w} = (w_1, w_2, \dots, w_{n+1})$ . Výstup neurónu je definovaný ako skalárny súčin vektorového a váhového vektora, transformovaný aktivačnou funkciou. Dopredná neurónová sieť je základ hlbokého učenia. Slovo *dopredná* znamená, že informácie plynú zo vstupných uzlov cez sieť do výstupných uzlov  $y$ . Ďalším typom neurónovej siete sú konvolučné



Obr. 2 Koncolučná neurónova sieť [2]

neurónové siete. Najčastejšie sa používajú na spracovanie obrazu, to znamená 2-D matice, pozostávajúcej z jednotlivých pixelov obrazu, ale tiež na spracovanie 1-D matice, napr. údajov časovej osi. Ukážka konvolučnej neuronovej siete je zobrazená na Obr. 2. Rekurentné neurónové siete sú neurónové siete pre sekvencie. Špecifické typy rekurentných sietí sú *Long Short-Term Memory* (LSTM) siete, používajúce najmä skryté jednotky, ktoré si na dlhý čas zapamätajú vstupy. Špeciálnym typom neurónovej siete je autoenkodér. Je to neurónová sieť, ktorá je vyškolená, aby sa pokúsila skopírovať jej vstup do svojho výstupu. Pre lepšie pochopenie všetkých termínov odporúčame knihu *Deep Learning book* [2].

## II. PREHL'AD OBLASTÍ POUŽITIA METÓD HLBOKÉHO UČENIA

### A. Klasifikácia časových radov

#### Klasifikácia svetelných kriviek

V [3] sa používajú techniky strojového učenia v snahe predikovať a klasifikovať vlastnosti hviezd z veľmi zašumených alebo riedkych časových radov. V tejto štúdii bolo spracovaných viac ako 94 GB svetelných kriviek Kepler z Mikulského archívu pre vesmírne teleskopy (MAST), aby ich klasifikovali podľa 10 rôznych fyzikálnych vlastností. Bolo zistené, že použitie rekurentných neurónových sietí, konkrétne LSTM sietí k reprezentatívne vzdelávaniu bolo obmedzené v jeho uplatniteľnosti. Dôvodom bola buď obmedzená pozitívna veľkosť vzorky v rámci dostupných údajov alebo nerovnosť a/alebo hlučnosť reálnych údajov. Úspešné aplikácie rekurentných sietí sa ukázali predovšetkým na simulovaných dátach, kde sa hluk tiež simuluje, a preto je predvídateľnejší. Zatiaľ čo reprezentatívne vzdelávanie sa nepodarilo dokázať, inžinierske funkcie priniesli vynikajúce výsledky, pokiaľ ide o regresiu a klasifikáciu.

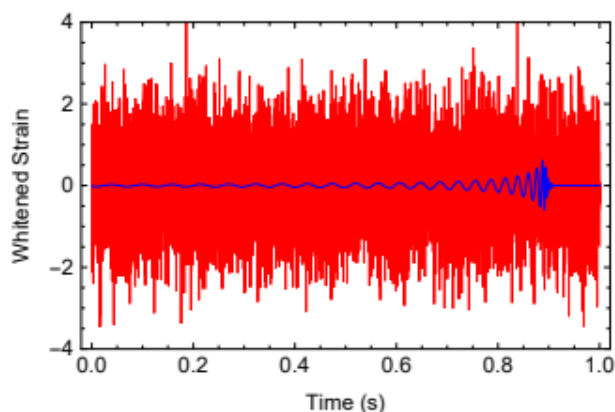
V [4] bolo použitých 87% reálnych dát z HiTS zo 4 tried (Sepernova, Asteorid, RR Lyrae a non variable) a syntetické dáta, teda simulované svetelné krivky. Bol navrhnutý nový sekvenčný klasifikačný model pre astronomické objekty založený na komplikovanej rekurentnej neurónovej sieti, ktorá používa priamo sekvencie obrazov bez výpočtu krivky svetla. Použitím empirických a fyzikálnych modelov rôznych astronomických objektov simulovali údaje z HiTS na vytvorenie syntetickej množiny obrázkov pre tieto astronomické objekty, berúc do úvahy realistické atmosférické podmienky a špecifikácie kamery. Tento syntetický dátový súbor bol použitý na tréning klasifikátorov sekvencií obrazu. Následne bol vytvorený model na reálnych obrázkoch z prieskumu HiTS. Výsledky ukazujú, že navrhovaný model klasifikuje správne asteroidy, RR Lyrae, Supernovae a Non-variables s výnimkou dvojítých hviezd.

#### Detekcia gravitačných vln z čiernych dier – Deep filtering

Pokrokové detektory *Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory* (LIGO) detegovali štyri významné gravitačné vlnové udalosti, ktoré sú v súlade s Einsteinovými všeobecnými predikciami relativnej relativity binárnych čiernych dier. Tento významný vedecký prelom, ktorý si zaslúžil Nobelovú cenu za fyziku z roku 2017, inicioval novú éru v astronómii a astrofyzike.

V [5] bol prvýkrát predstavený *Deep Filtering* – nový učiaci algoritmus založený na hlbokéj neurónovej sieti, ktorý spracováva veľmi hlučné časové rady pre klasifikáciu a regresiu. *Deep filtering* pozostáva z dvoch hlbokých konvolučných neurónových sietí, ktoré priamo prijímajú vstupy časových radov a sú schopné detegovať a charakterizovať signály.

Článok [6] predstavuje *Deep Filtering* s reálnymi dátami LIGO. Pre tréning a testovanie boli použité šablóny kriviek, umelo vytvorené syntetické dáta (2500 syntetických kriviek pre testovanie a 2500 pre tréning). Takto naučená sieť bola použitá na reálne dáta zo systému LIGO.



Obr. 3 Ukážka *Deep filtering* [5].

Príklad vstupných údajov môžete vidieť na obrázku 3. Červené časové rady sú príkladom vstupu do algoritmu hlbokoj neurónovej siete. Modrý signál je gravitačná vlna binárnej čiernej diery, ktorý bol zistený navrhnutou citlivosťou LIGO a prekrytý hlučnými údajmi. Hlboká neurónová sieť deteguje prítomnosť signálu priamo z (červeného) vstupu časových radov s viac ako 99% citlivosťou a rekonštruuje parametre zdroja so strednou relatívnou chybou okolo 10%.

Obrázok 4 porovnáva presnosť rôznych metód strojového učenia na detekciu po každom tréningu s približne 8000 prvkami a ukazuje priemernú relatívnu chybu získanú rôznymi algoritmi strojového učenia na predpovedanie jedného parametra – hmotnostného pomeru, a to pomocou tréningového setu obsahujúceho približne 8000 signálov s pevnou amplitúdou = 0,6 pridanou k bielemu šumu s jednotkovou štandardnou odchýlkou.

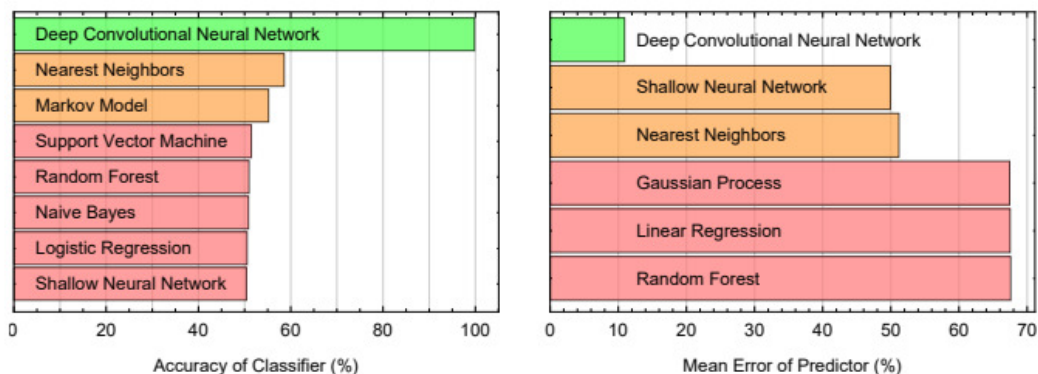
V [6] sa ukázalo, že prvýkrát sa podarilo využiť konvolučné neurónové siete na detekciu a odhad parametrov gravitačných vln signálov z LIGO. To znamená že môžeme analyzovať gravitačné vlny v reálnom čase. Pomocou tejto metódy môžeme využiť masívne množstvá údajov, posunúť hranice astrofyziky a plne realizovať jej potenciál vo vedeckých prácach.

### B. Klasifikácia astronomických obrázkov

#### Detekcia gravitačných vln – klasifikácia glitches

Táto problematika v kontexte hlbokého učenia je opísaná v štúdiách [7], [8], [9], [10]. *Glitches* často skrývajú alebo napodobňujú skutočné signály. Robustnou charakteristikou tohto problému je predovšetkým snaha o dosiahnutie dostatočnej rýchlosti detekcie gravitačných vln.

V [7], projekt *Gravity Spy* spája ľudskú klasifikáciu s modelmi strojového učenia aby tak dopomohli k automatickému rozpoznávaniu *glitches* v signáloch z LIGO detektora. V práci [8], sa už využíva takzvaný *deep multi-view* model, ktorý klasifikuje *glitches* do štyroch časových



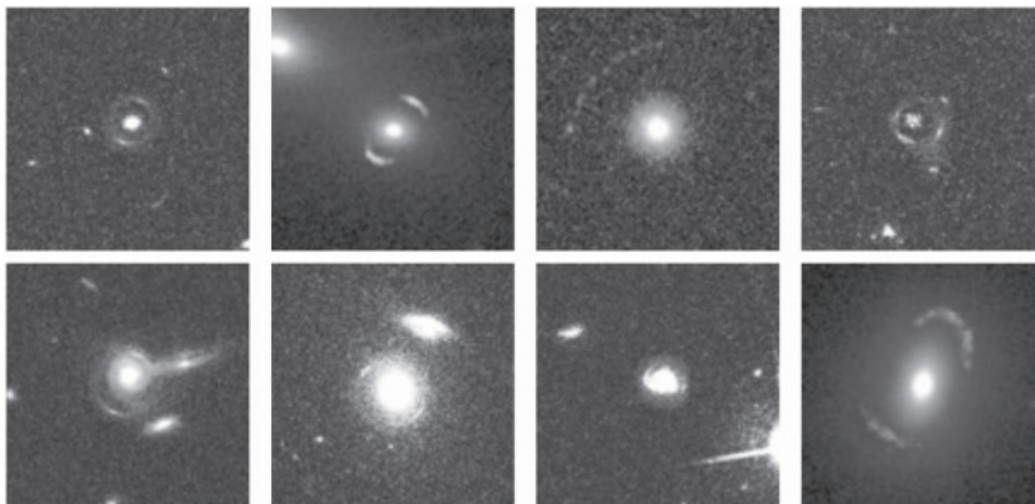
Obr. 4 Porovnanie metód strojového učenia na detekciu a porovnanie odhadu parametrov [5].



segmentov. Nakoniec v štúdií [9] a [10], autori použili *Transfer learning* model, založený na obrázkoch z *imageNet* [11].

Štúdia [8] ukazuje, že *deep multi-view* modely môžu zachytiť informácie potrebné na klasifikáciu všetkých typov *glitches* s pravdepodobnosťou 97%. Zistilo sa však, že triedy chýb s minimálnym počtom označených vzoriek nemožno klasifikovať s rovnakou úrovňou presnosti. Zo štúdií [9] a [10] je zrejme, že siete vyškolené pomocou *Transfer learning* dosahujú lepšie výsledky ako modely konvolučných neurónových sietí vyškolené zo základov na rovnakom súbore údajov. Najvyššia dosiahnuteľná presnosť rozpoznávania *glitches* na minimálnej vzorke dát a v krátkom čase bola 98,8% [10].

#### Detekcia gravitačných šošoviek



Obr. 5 Ukážka simulovaných gravitačných šošoviek [12].

Gravitačná šošovka je distribúcia hmoty (ako napríklad zoskupenie galaxií) medzi vzdialeným svetelným zdrojom a pozorovateľom, ktorá je schopná ohýbať svetlo zo zdroja, keď svetlo smeruje k pozorovateľovi. Tento efekt je známy ako gravitačné šošovky a množstvo ohýbania je jednou z predpovedí všeobecnej teórie relativity Alberta Einsteina.

Presná analýza jednej gravitačnej šošovky môže trvať až niekoľko týždňov a vyžaduje odborné znalosti o fyzikálnych procesoch a metódach. Predpokladá sa, že ďalšie prieskumy objavia desiatky tisíc nových šošoviek. V prácach [13], [12] sa ukazuje, že použitím konvolučných neurónových sietí môžeme tieto odhady urobiť veľmi rýchlo a zároveň obísť problémy, ktoré sa vyskytujú pri pravdepodobnostných modeloch.

V práci [13] boli na tréningovanie použité štyri siete *Inception-v4*, *AlexNet*, *OverFeat* a vlastná sieť. Na analýzu silných šošovkových systémov sme odstraňovali ich konečné vrstvy klasifikácie a zmenili sme výstup poslednej plne prepojenej vrstvy na predikciu, pričom ich všetky váhy boli inicializované náhodne. Tieto modely boli tréňované na pól miliónu simulovaných silných šošovkových systémoch.

V článku [12] autori prezentujú klasifikačný algoritmus strojového učenia na identifikáciu silných gravitačných šošoviek z rozsiahlych prieskumov pomocou konvolučných neurónových sietí – *LensFlow*. 95% presnosť výsledkov publikovaných v [13] je v súlade s odhadovanými hodnotami v rámci chyby siete, čo je pre väčšinu štúdií dostatočná presnosť. Výsledky *LensFlow* sú zobrazené na obrázku 5 a tabuľke 1.

#### Detekcia galaxií

Pomocou *Transfer learning* je možné detegovať spojenie jednotlivých galaxií s inými galaxiami. V [14] bol použitý dataset *GalaxyZoo*. Autori [14] zistili, že *Transfer learning* môže v niektorých prípadoch pôsobiť ako regularizátor, čo vedie k lepšej celkovej presnosti klasifikácie ( $p = 0,02$ ). Takto pozmenený model na našej celej tréningovej množine vedie k zníženej chybovosti od  $0.038 \pm 1$  až po  $0.032 \pm 1$  a prináša relatívne zlepšenie o 15%.

Štúdia [15] predstavuje *GalaxyGAN* (*Generative Adversarial Networks*) – skúmanie vlastností astronomických snímok za hranicou de-konvolúcie. V tejto metóde bolo použitých viac ako štyri tisíc obrázkov z *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS). Spolahlivosť metódy GAN závisí vo veľkej

| Lens | R.A.<br>(deg) | Decl.<br>(deg) | Einstein Radius<br>(arcsec) | Magnitude<br>(AB) | Absolute Rank<br>In 236,000 | Average Grade<br>A/B/C |
|------|---------------|----------------|-----------------------------|-------------------|-----------------------------|------------------------|
| 1    | +149.545323   | +1.614164      | 1.82                        | 22.16             | 1211                        | B                      |
| 2    | +150.440339   | +1.754854      | 1.36                        | 21.90             | 204                         | A                      |
| 3    | +150.180910   | +1.714817      | 1.90                        | 22.22             | 383                         | C                      |
| 4    | +150.066345   | +1.772114      | 2.11                        | 19.85             | 7                           | C                      |
| 5    | +149.489741   | +1.736721      | 1.08                        | 21.18             | 1744                        | C                      |
| 6    | +150.646190   | +1.840283      | 1.91                        | 20.28             | 1018                        | B                      |
| 7    | +150.091078   | +1.935850      | 2.53                        | 21.13             | 136                         | B                      |
| 8    | +149.632091   | +1.882368      | 2.38                        | 20.41             | 260                         | B                      |
| 9    | +150.670701   | +2.091367      | 1.30                        | 21.19             | 458                         | B                      |
| 10   | +149.894802   | +2.109357      | 0.72                        | 20.44             | 845                         | B                      |
| 11   | +149.856184   | +2.112118      | 2.33                        | 21.61             | 1321                        | B                      |
| 12   | +150.549644   | +2.140845      | 0.91                        | 22.61             | 584                         | B                      |
| 13   | +150.259607   | +2.209858      | 0.88                        | 20.16             | 1275                        | B                      |
| 14   | +150.117743   | +2.266765      | 0.86                        | 20.34             | 1597                        | B                      |
| 15   | +149.730719   | +2.147258      | 1.82                        | 20.62             | 21                          | B                      |
| 16   | +149.644851   | +2.135518      | 1.74                        | 21.55             | 189                         | B                      |
| 17   | +150.656039   | +2.447838      | 1.51                        | 20.81             | 308                         | A                      |
| 18   | +150.411971   | +2.308876      | 1.86                        | 19.93             | 1069                        | B                      |
| 19   | +150.095108   | +2.300498      | 0.43                        | 18.57             | 1593                        | C                      |
| 20   | +150.085701   | +2.297656      | 0.91                        | 21.86             | 300                         | B                      |
| 21   | +150.085616   | +2.364097      | 1.79                        | 18.72             | 506                         | B                      |
| 22   | +150.106308   | +2.432955      | 1.82                        | 21.34             | 1674                        | C                      |
| 23   | +149.961446   | +2.349389      | 1.16                        | 21.60             | 208                         | B                      |
| 24   | +149.628310   | +2.354862      | 0.88                        | 21.82             | 1820                        | B                      |
| 25   | +149.722715   | +2.428631      | 1.19                        | 21.60             | 359                         | C                      |
| 26   | +150.571395   | +2.506658      | 1.55                        | 20.18             | 66                          | C                      |
| 27   | +150.624611   | +2.540319      | 0.88                        | 18.97             | 910                         | C                      |
| 28   | +150.694175   | +2.547039      | 1.87                        | 21.57             | 207                         | C                      |

Tabuľka 1

Stupeň A zodpovedá obrázkom, ktoré sú jasne silnou gravitačnou šošovkou. Stupeň B zodpovedá obrázkom, ktoré sú s najväčšou pravdepodobnosťou šošovkou, ale je tu šanca, že tam môže byť aj artefakt (hluk, satelitné galaxie atď.). Trieda C sa skladá z obrázkov, ktoré s najväčšou pravdepodobnosťou nie sú šošovky, ale je tu malá šanca, že objekt je gravitačná šošovkou. [12].

miere od tréningového súboru. GAN môže vo všeobecnosti priniesť len užitočné vylepšenia funkcií, na ktoré bol vyškolený. Môže sa pokúsiť o rekonštrukciu predtým neznámych prvkov, hoci s nižšou mierou spoľahlivosti. Metódy založené na tejto metóde sa môžu aplikovať na širokú škálu existujúcich a budúcich oblohových prieskumov ako sú Pan-STARRS, LSST, HSC a iné [15].

Ukázalo sa tiež, že použitie konvolučných sietí v klasifikácii hviezda/galaxia na dátach z prieskumu SDSS je úspešným prístupom [16]. V tejto štúdií bol predstavený model *ConvNet* pre klasifikáciu hviezd a galaxií vo fotometrických snímkach SDSS a CFHTLenS. Hlavnou výhodou je to, že užitočné funkcie sa automaticky naučia z obrázkov, pričom tradičné algoritmy strojového učenia vyžadujú inžinierske funkcie ako samostatný proces na vytvorenie presných klasifikácií.

### C. Odhad fotometrických červených posunov

V [17], [18], [19], [20], [21] je odhad fotometrických červených posunov získaný buď metódami strojového učenia, metódami založenými na šablónach alebo ich kombináciou.

Napríklad v [17], sú použité rôzne architektúry umelých neurónových sietí, ktoré sú testované na katalógových semi-analytických modeloch galaxií a porovnávané s výsledkami modelov založených na šablónach. Ďalej v [18], viacvrstvové perceptróny a samo-organizačné mapy, sú použité na výpočet odhadu parametrov. V [19] sa neurónové siete používajú ako iteratívny kvázi-Newtonovský spôsob minimalizácie odhadu chyby. Práca [20], využíva flexibilitu neurónových sietí a trénuje modely buď na homogénnych dátach (spektografických obrázkoch červených posunov alebo len na simulovaných dátach) alebo na zmiešanom datasete, teda na originálnych aj simulovaných dátach. V [22] autori poskytujú novú metódu na odhad fotometrického priradenia galaxií v každom meracom rozsahu. Táto nová metóda odstraňuje potrebu expertnej interakcie v rámci spracovateľského potrubia na odhad červených posunov. Použili *Transfer learning*, konvolučnú neurónovú sieť, ktorá bola vyškolená na datasete *imageNet* [11].

Kombinácia *Deep convolutional* a *Mixture Density Networks* (DCMDN) bola použitá v [23], [24]. *Mixture Density Networks* je klasický viacvrstvový perceptron s výstupom definovaným zmiešaným modelom Gaussovho a normálneho rozdelenia. Kombinujú upravenú verziu architektúry *LeNet-5* [25] s MDN na získanie DCMDN. Konvolučná časť automaticky extrahuje užitočné informácie zo snímkov, ktoré sa používajú ako vstupy MDN.

Rozsiahle experimenty [18] vedú k záveru, že Bayesovský rámec poskytuje lepšie zovšeobecňujúce schopnosti s nižším rizikom nadmerného namáhania. Optimálny kompromis medzi rýchlosťou a presnosťou sa dosahuje s 22 skrytými neurónmi a 10 Bayesovskými cyklusmi. V najlepšom experimente dosiahla implementovaná sieť presnosť 0,020 – robustná chyba. V [19] a [20] je výsledná presnosť 0,022. Hlavnou výhodou metódy v [22] je, že užívateľ nemá vplyv na výber



meraných vlastností získaných z obrazu galaxie. Výsledky sú porovnané s metódou *AdaBoost* [26]. Odľahlé hodnoty *Deep Neural Networks* (DNN) sú o 10% vyššie ako v *AdaBoost*, ale rozdiel medzi spektroskopickým červeným posunom a červeným posunom strojového učenia je porovnateľný – DNN (1,74%) a *AdaBoost* (1,56%).

V článkoch [23] a [24] autori použili dva štatistické nástroje, a to *Continuous Rank Probability Score* (CRPS) a *Probability Integral Transform* (PIT) aby správne odhadli kvalitu získaných výsledkov z práce [27].

DCMDN [23] predstavuje najlepší výkon, pretože používa všetky informácie poskytnuté obrázkami. Použitie PIT im umožnilo vyhodnotiť predpokladané distribúcie pre sub-disperziu a nadmerný rozptyl, čo naznačuje, že je stále možné vykonať špecifickú optimalizáciu týkajúcu sa kalibrácie. Druhou a pravdepodobne najdôležitejšou schopnosťou DCMDN je vyriešiť problém regresie bez potreby predbežnej klasifikácie objektov. Tabuľka 2 obsahuje porovnanie *random forest* (RF), *mixture density network* (MDN) a DCMDN.

|         | Model | CRPS  | PIT                                       |
|---------|-------|-------|---|
| Galaxie | RF    | 0,021 | dobře kalibované                          |
|         | MDN   | 0,022 | vychýlené                                 |
|         | DCMDN | 0,021 | mierne rozptýlené                         |
| Quasars | RF    | 0,187 | dobře kalibované                          |
|         | MDN   | 0,19  | dobře kalibované,<br>pár odľahlých hodnôt |
|         | DCMDN | 0,167 | dobře kalibované,<br>pár odľahlých hodnôt |
| Mix     | RF    | 0,15  | extremne rozptýlené                       |
|         | MDN   | 0,15  | rozptýlené a vychýlené                    |
|         | DCMDN | 0,12  | rozptýlené,<br>pár odľahlých hodnôt       |

Tabuľka 2  
 Sumárna tabuľka všetkých experimentov [24].

#### D. Iné

Samozrejme je mnoho ďalších úloh súvisiacich s astrofyzikou a hlbokým učením. Môžeme spomenúť použitie rekurentných neurónových sietí pre klasifikáciu nerovnomerne vzorkovaných premenných hviezd [28], efektívnu diferenciáciu obrazu s *ConvNets* pre *real-time transient hunting* [29], vyhľadávanie exoplanét pomocou neurónových sietí [30], analýza *Galactic Center* s hlbokým učením [31] alebo spektrálnu klasifikáciu obrazu [32].

### III. ZÁVER

Táto práca popisuje niektoré oblasti a úlohy v astrofyzike, kde sa aplikuje hlboké učenie. Hlavným cieľom pre nás v budúcnosti je podrobnejšie študovať poskytnuté techniky a aplikovať ich v tejto oblasti na vybrané úlohy a súbory údajov.

#### POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporená grantom – Slovak VEGA grant no. 1/0493/16.

#### REFERENCIE

- [1] Y. Lecun, Y. Bengio, and G. Hinton, “Deep learning,” 2015.
- [2] Yoshua Bengio, “Deep Learning Book,” *MIT Press*, 2015.
- [3] T. A. Hanners, K. Tat, and R. Thorp, “Machine Learning Techniques for Stellar Light Curve Classification,” *The Astronomical Journal*, 2018.
- [4] R. Carrasco-Davis, G. Cabrera-Vives, F. Forster, P. A. Estevez, P. Huijse, P. Protopapas, I. Reyes, J. Martinez-Palomera, and C. Donoso, “Deep learning for image sequence classification of astronomical events.”
- [5] D. George and E. A. Huerta, “Deep neural networks to enable real-time multimessenger astrophysics,” *Physical Review D*, 2018.
- [6] D. George and E. Huerta, “Deep Learning for real-time gravitational wave detection and parameter estimation: Results with Advanced LIGO data,” *Physics Letters, Section B: Nuclear, Elementary Particle and High-Energy Physics*, 2018.

- [7] M. Zevin, S. Coughlin, S. Bahaadini, E. Besler, N. Rohani, S. Allen, M. Cabero, K. Crowston, A. K. Katsaggelos, S. L. Larson, T. K. Lee, C. Lintott, T. B. Littenberg, A. Lundgren, C. Osterlund, J. R. Smith, L. Trouille, and V. Kalogera, "Gravity Spy: Integrating advanced LIGO detector characterization, machine learning, and citizen science," *Classical and Quantum Gravity*, 2017.
- [8] S. Bahaadini, N. Rohani, S. Coughlin, M. Zevin, V. Kalogera, and A. K. Katsaggelos, in *ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings*, 2017.
- [9] D. George, H. Shen, and E. A. Huerta, "Deep Transfer Learning: A new deep learning glitch classification method for advanced LIGO," 2017. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1706.07446> <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.97.101501>
- [10] D. George, H. Shen, and E. Huerta, "Glitch Classification and Clustering for LIGO with Deep Transfer Learning," no. Dlps, 2017. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1711.07468> <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.97.101501>
- [11] Jia Deng, Wei Dong, R. Socher, Li-Jia Li, Kai Li, and Li Fei-Fei, "ImageNet: A large-scale hierarchical image database," 2009.
- [12] M. Pourrahmani, H. Nayyeri, and A. Cooray, "LensFlow: a convolutional neural network in search of strong gravitational lenses," pp. 1–10, 2017.
- [13] Y. D. Hezaveh, L. P. Levasseur, and P. J. Marshall, "Fast automated analysis of strong gravitational lenses with convolutional neural networks," *Nature*, 2017.
- [14] S. Ackermann, K. Schawinski, C. Zhang, A. K. Weigel, and M. Dennis Turp, "Using transfer learning to detect galaxy mergers," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2018.
- [15] K. Schawinski, C. Zhang, H. Zhang, L. Fowler, and G. K. Santhanam, "Generative adversarial networks recover features in astrophysical images of galaxies beyond the deconvolution limit," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 2017.
- [16] E. J. Kim and R. J. Brunner, "Star-galaxy classification using deep convolutional neural networks," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2017.
- [17] A. E. Firth, O. Lahav, and R. S. Somerville, "Estimating photometric redshifts with artificial neural networks," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 339, pp. 1195–1202, March 2003.
- [18] R. Tagliaferri, G. Longo, S. Andreon, S. Capozziello, C. Donalek, and G. Giordano, "Neural Networks for Photometric Redshifts Evaluation," *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 2859, pp. 226–234, 2003.
- [19] A. Collister and O. Lahav, "ANN : Estimating Photometric Redshifts Using Artificial Neural Networks," *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 2004.
- [20] E. Vanzella, S. Cristiani, A. Fontana, M. Nonino, S. Arnouts, E. Giallongo, A. Grazian, G. Fasano, P. Popesso, P. Saracco, and S. Zaggia, "Photometric redshifts with the Multilayer Perceptron Neural Network: Application to the HDF-S and SDSS," *Astronomy & Astrophysics*, 2004.
- [21] C. Yèche, P. Petitjean, J. Rich, E. Aubourg, N. Busca, J.-C. Hamilton, J.-M. Le Goff, I. Paris, S. Peirani, C. Pichon, E. Rollinde, and M. Vargas-Magaña, "Artificial neural networks for quasar selection and photometric redshift determination," *Astronomy & Astrophysics*, 2010.
- [22] B. Hoyle, "Measuring photometric redshifts using galaxy images and Deep Neural Networks," *Astronomy and Computing*, 2016.
- [23] A. D. Isanto and K. Polsterer, "Uncertain Photometric Redshifts via Combining Deep Convolutional and Mixture Density Statistical tools : CRPS and PIT," no. April, pp. 26–28, 2017. [Online]. Available: <https://www.elen.ucl.ac.be/Proceedings/esann/esannpdf/es2017-56.pdf>
- [24] K. L. Polsterer, "Photometric redshift estimation via deep learning," pp. 1–16, 2017. [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/1706.02467.pdf>
- [25] Y. LeCun, L. Bottou, Y. Bengio, and P. Haffner, "Gradient-Based learning Applied to Document Recognition," *Proc. of the IEEE*, 1998.
- [26] Y. Freund and R. E. Schapire, "A Decision-Theoretic Generalization of On-Line Learning and an Application to Boosting," *Journal of Computer and System Sciences*, vol. 55, pp. 119–139, 1997.
- [27] K. L. Polsterer, A. D'Isanto, and F. Gieseke.
- [28] B. Naul, J. S. Bloom, F. Pérez, and S. Van Der Walt, "A recurrent neural network for classification of unevenly sampled variable stars," *Nature Astronomy*, 2018.
- [29] N. Sedaghat and A. Mahabal, "Effective Image Differencing with ConvNets for Real-time Transient Hunting," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2017.
- [30] K. A. Pearson, L. Palafox, and C. A. Griffith, "Searching for exoplanets using artificial intelligence," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2018.
- [31] S. Caron, G. A. Gómez-Vargas, L. Hendriks, and R. R. De Austri, "Analyzing  $\gamma$  rays of the Galactic Center with deep learning," *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, 2018.
- [32] V. Jankov and J. X. Prochaska, "Spectral Image Classification with Deep Learning," *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, no. 991, p. 094501.

# An extension of denotational semantics for imperative languages

*Maroš LUKÁČ, William STEINGARTNER*

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

maros.lukac.4@student.tuke.sk, william.steingartner@tuke.sk

**Abstract** – Denotational semantics represents expression the meaning of programs by functions from syntactical domains to semantic domains which can be non-trivial mathematical structures. In this document we present representation of denotational semantics based on category theory of procedures and semantic equivalence of denotational and categorical denotational semantics. We will consider memory states as objects of category and semantic functions as morphisms. Category is then a model and semantics of a program written in language *Jane* is modeled in this category as a path which representing composition of morphisms.

**Keywords** – Denotational semantics, denotational categorical semantics, procedures, semantical equivalence

## I. INTRODUCTION

A formal description of programming languages is an important method that serves for assigning exact meanings to programs. Formal semantics of programming languages provides the interpretation of programs written in this programming language. Main *rôle* is to formulate (predict) the outcome of program execution. Formal semantics can also be represented as a mapping from syntactic domains to the semantics domains. There are several semantic methods that are used for various purposes. Denotational semantics, that was formulated by Dana Scott and Christopher Strachey [1], and later by David Schmidt [2], defines a meaning of a program in terms of domains and functions [3], [4]. Another semantic method, categorical denotational semantics represents a new approach to semantics where the behavior of programs is presented as changes of memory states which is modeled in the category of states. The morphisms of category express elementary execution steps and the program execution is then an oriented path in the category representing the composition of morphisms. Our categorical model is constructed for a simple procedural language *Jane* that contains all basic Dijkstra's constructs and is enriched also with blocks and procedures forming a collection of categories interconnected by functors. This method enables the repeated call of procedures, nesting of procedure calls and recursive calls. Moreover, it allows illustrating execution of the program. In this paper, we will focus on denotational and categorical denotational semantics of a simple imperative language *Jane*. This language is used for teaching the formal foundations and it is known also as *IMP* or *While*. The description of this language was published in many others publications, so the reader is referred to access for example [5], [6]. The second part of this paper contains the construction of categorical denotational semantics of our language.

## II. CATEGORICAL DENOTATIONAL SEMANTICS OF PROCEDURES

In this section, we extend our approach for the language with procedures declarations and procedures calls [7]. A procedure is a named block which can be called more times by its name from the main program or from another procedure independently. A special case is a recursive procedure which calls itself with possibly changed (usually decremented) input argument until the closing condition is false. A procedure declaration consists of its name (possibly with parameters), the local declarations and the sequence of statements. Within calling a procedure, its parameters are replaced by arguments and the body of a procedure is assigned to its name. In this paper, we consider for simplification only one parameter. A new syntactic domain **ProcDecl** for sequences of procedure declarations are introduced. A syntax of procedures is as follows:

$$D_p ::= \text{proc } p(t) \text{ is } S \text{ return}; D_p \mid \varepsilon.$$

Procedure declaration contains procedure name  $p$ , its parameter  $t$  and a sequence of statements  $S$ . Next, we extend the syntax of *Jane* as follows:

$$S ::= \dots \mid \text{begin } D; D_p; S \text{ end} \mid \text{call } p(e).$$

The semantics of program containing procedures is modeled as a collection of categories of states. One category denoted  $\mathcal{C}_{State}$  constructed above serves as a category for the main program. A declaration of procedure  $p$  causes the construction of the new category  $\mathcal{C}_p$  similarly as the main category. Constructing a new category of states for each declared procedure then enables multiple and nested calling of procedures. Consider a category  $\mathcal{C}_p$  constructed for the procedure  $p$ . This category has its initial state denoted  $s_0^p = \langle \langle (\perp, \perp), \perp \rangle \rangle$ . We consider this starting point as a general state that is replaced by a concrete entry in a state table. A level of declaration in an initial state of the procedure is undefined and is replaced by actual value when the procedure is called and an appropriate category is constructed [5], [6]. The connection between constructed categories of states can be carried out by functors.

We construct two functors:

$$\begin{aligned} C : \mathbf{Statm} &\rightarrow \mathcal{C}_{State} \rightarrow \mathcal{C}_p, \\ R : \mathbf{Statm} &\rightarrow \mathcal{C}_p \rightarrow \mathcal{C}_{State}. \end{aligned}$$

The functor  $C$  represents calling a procedure  $p$ . If the statement  $S$  in  $\mathcal{C}_{State}$  is a call of the procedure  $p$  with argument  $e$ ,  $\text{call } p(e)$ , in a state  $s$  then the functor  $C$  has to:

- update the initial state  $s_0^p$  in  $\mathcal{C}_p$  by the state  $s$  in  $\mathcal{C}_{State}$ ;
- append a new entry in  $s_0^p$  for parameter  $t$ ;
- increment the nesting level;
- pass the value  $\llbracket e \rrbracket s$  of the argument to the new entry for a parameter  $t$ .

If the statement  $S$  is not a call of a procedure then the image of a state  $s$  is undefined state  $s_\perp^p = \langle \langle (\perp, \perp), \perp \rangle \rangle$ , the terminal object in  $\mathcal{C}_p$ . Formally, the functor  $C$  works on objects as follows:

$$C(S)s = \begin{cases} s_0^p[\langle \langle (\perp, 1), \perp \rangle \rangle \mapsto s \circ \langle \langle (t, l+1), \llbracket e \rrbracket s \rangle \rangle], & \text{if } S = \text{call } p(e); \\ s_\perp^p, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

For any morphism  $s \rightarrow s'$  in  $\mathcal{C}_{State}$ , its image by  $C$  is defined as follows to satisfy functoriality of  $C$ :

$$C(S)(s \rightarrow s') = \begin{cases} s_0^p \rightarrow s_\perp^p, & \text{if } S = \text{call } p(e); \\ id_{s^*}^p, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

where  $s^* = s_\perp^p$ .

Executing a procedure  $p$  can be modeled in the corresponding category  $\mathcal{C}_p$  of states as a finite path of states. The final state is denoted by  $s_f^p$  and it is indicated by a keyword **return**. The *rôle* of functor  $R$  is to:

- forget entries in  $s_f^p$  of locally declared variables; and
- pass the possibly changed values of global variables to the category  $\mathcal{C}_{State}$

because finishing the procedure body will cause forgetting the values of locally declared variables and decrementation of the nesting level. Therefore, the formal definition of functor  $R$  is simpler:

$$R(S)s^p = \begin{cases} \llbracket del \rrbracket(s^p), & \text{if } s^p = s_f^p; \\ s_{\perp}, & \text{otherwise;} \end{cases}$$

$$R(S)(s^p \rightarrow s'^p) = \begin{cases} s_{\perp} \rightarrow s', & \text{if } S = \mathbf{return}; \\ id_{s_{\perp}}, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

The semantics of the statement  $\mathbf{call} p(e)$  is then defined by the commutative diagram (depicted in Fig. 1) as a composition

$$\llbracket \mathbf{call} p(e) \rrbracket = (C(\mathbf{call} p(e)) \circ \llbracket S_p \rrbracket) \circ R.$$

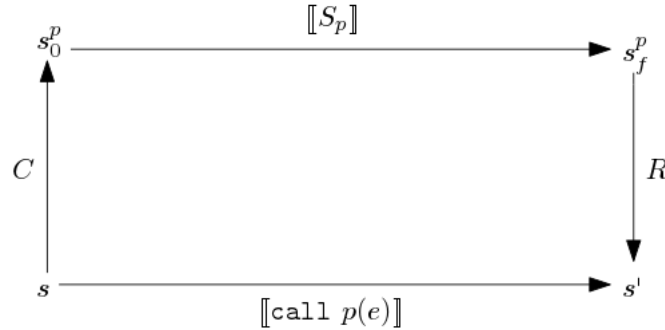


Fig. 1: Semantic of procedure call

Now we define the semantics of recursive procedures. A recursive procedure is a procedure that makes a call to itself. To prevent infinite recursion, we need at least one branch (i.e. of a conditional statement) that does not make a recursive call. When a recursive call is invoked, technically the procedure clones itself, making new copies of the code, the local variables and the arguments.

For defining the categorical semantics of recursive procedures, we use the following notation:

- $\mathcal{C}_{p|j}$  is the  $j$ -th category for procedure  $p$ , constructed when the procedure is called  $j$ -th time;
- $s_{i|j}^p$  is the state with index  $i$  during the program execution enclosed in category of states for procedure  $p$  with an index  $j$ ;
- $s_{fin|j}^p$  is the final state in the category for procedure  $p$  with an index  $j$ .

The semantics of recursive procedure with one parameter which calls only itself is as follows:

$$\begin{aligned} \llbracket \mathbf{call} p(e) \rrbracket &= [R^i(\mathbf{return}) \circ \llbracket S'' \rrbracket_{i=n-1}^1] \circ \\ &\quad \circ (R^n(\mathbf{return}) \circ \llbracket S_p \rrbracket) \circ \\ &\quad \circ [C^i(\mathbf{call} p(e_i)) \circ \llbracket S'' \rrbracket_{i=2}^n] \circ \\ &\quad \circ C^1(\mathbf{call} p(e_1)), \end{aligned}$$

where upper index at functors  $C$  and  $R$  means the order of application. At functor  $C$  the index of order is incremented, at functor  $R$  is decremented. Statement  $S_p$  represents the body of the procedure, statement  $S'$  stands for some subsequence of statements that are executed when the procedure starts until the new call is invoked, and the statement  $S''$

represents the subsequence that is executed after returning the value of the previous call to the end of the procedure.

### III. EQUIVALENCE OF DENOTATIONAL AND CATEGORICAL DENOTATIONAL SEMANTICS

In this part of the document, we will prove the equivalence of denotational and categorical denotational semantics for the  $\mathcal{J}_{ane}$  language statements. For this proof, we use structural induction. The  $\mathcal{S}_{ds}[[S]]$  function is a partially defined function, an element of a partially ordered set of  $(\mathbf{State} \rightarrow \mathbf{State}, \sqsubseteq)$  which results in a new or unchanged state, resp. If the value of this function is not defined, it takes the value  $\perp$  - a symbol denoting the undefined value. Function  $\mathcal{C}[[S]]$  is a totally defined function of the form

$$\mathcal{C}[[S]] : \mathbf{State} \rightarrow \mathbf{State},$$

the resulting value of which is also a new or unchanged state, resp. In the absence of morphism between states, this function results in an undefined state, indicated by  $s_{\perp}$ . Due to the introduction of the variable environment for the block command, we have defined a new partially defined semantic function  $\mathcal{S}'_{ds}[[S]]$  and due to introduction of the procedure environment for procedures we have also defined a partially defined semantic function  $\mathcal{S}''_{ds}[[S]]$  [4], [8]. To prove the equivalence, it is sufficient to prove that:

1.  $\mathcal{S}_{ds}[[S]] \sqsubseteq \mathcal{C}[[S]]$ , and
2.  $\mathcal{C}[[S]] \sqsubseteq \mathcal{S}_{ds}[[S]]$ ;

for block statement:

1.  $\mathcal{S}'_{ds}[[S]] \sqsubseteq \mathcal{C}[[S]]$ , and
2.  $\mathcal{C}[[S]] \sqsubseteq \mathcal{S}'_{ds}[[S]]$ ;

for procedures:

1.  $\mathcal{S}'_{ds}[[S]] \sqsubseteq \mathcal{C}[[S]]$ , and
2.  $\mathcal{C}[[S]] \sqsubseteq \mathcal{S}'_{ds}[[S]]$ ;

For shortening of this document, we show only the first step of the proof. For the second part of the proof, the interested reader is referred to reference [9].

First, we will prove  $\mathcal{S}_{ds}[[S]] \sqsubseteq \mathcal{C}[[S]]$  by structural induction to the statement  $S$ .

The first case is a variable assignment,  $S \equiv x := e$ . The denotation of the assignment statement is

$$\mathcal{S}_{ds}[[x := e]]s = s[x \rightarrow \mathcal{E}[[e]]s].$$

Morphism for the categorical denotation semantics of the assignment statement is

$$[[x := e]]s = s[x \rightarrow \mathcal{E}[[e]]s].$$

Consequently, the variable  $x$  is assigned the value of the arithmetic expression  $\mathcal{E}[[e]]s$  for every state  $s \in \mathbf{State}$ :

$$\mathcal{S}_{ds}[[x := e]]s = [[x := e]]s.$$

An empty statement,  $S \equiv \mathbf{skip}$ . Denotation of empty statement for both of the compared semantic approaches is an identical function, so

$$\mathcal{S}_{ds}[[\mathbf{skip}]]s = [[\mathbf{skip}]]s,$$

for each state  $s \in \mathbf{State}$ .

The next case is a sequence of commands,  $S \equiv S_1; S_2$ . Denotation of statement  $S$  is

$$\mathcal{S}_{ds}[[S_1; S_2]] = \mathcal{S}_{ds}[[S_2]] \circ \mathcal{S}_{ds}[[S_1]].$$

For  $S_1$  and  $S_2$ , we formulate the induction hypothesis where

$$\begin{aligned} \mathcal{S}_{ds}[[S_1]] &\sqsubseteq [[S_1]], \\ \mathcal{S}_{ds}[[S_2]] &\sqsubseteq [[S_2]]. \end{aligned}$$

According to [8], function  $\mathcal{S}[-]$  is a monotone function. Furthermore, the composition of monotone functions is again a monotone function. Therefore

$$\mathcal{S}_{ds}[[S_2]] \circ \mathcal{S}_{ds}[[S_1]] \sqsubseteq [[S_2]] \circ [[S_1]].$$

According to the definition of categorical denotation semantics of the sequence of statements,

$$[[S_2]] \circ [[S_1]] \sqsubseteq [[S_1; S_2]].$$

That means that

$$\mathcal{S}_{ds}[[S_1; S_2]] \sqsubseteq [[S_1; S_2]],$$

A conditional statement,  $S \equiv \text{if } b \text{ then } S_1 \text{ else } S_2$ . Denotation of conditional statement is

$$\mathcal{S}_{ds}[[\text{if } b \text{ then } S_1 \text{ else } S_2]] = \text{cond}(\mathcal{B}[[b]], \mathcal{S}_{ds}[[S_1]], \mathcal{S}_{ds}[[S_2]]).$$

For  $S_1$  and  $S_2$ , we formulate the induction hypothesis, where

1.  $\mathcal{S}_{ds}[[S_1]] \sqsubseteq [[S_1]]$ ,
2.  $\mathcal{S}_{ds}[[S_2]] \sqsubseteq [[S_2]]$ .

According to the definition of categorical denotation semantics of conditional statement,

$$\begin{aligned} [[\text{if } b \text{ then } S_1 \text{ else } S_2]]s &= [[S_1]]s, \text{ if } \mathcal{B}[[b]]s = \mathbf{tt}, \\ [[\text{if } b \text{ then } S_2 \text{ else } S_2]]s &= [[S_2]]s, \text{ if } \mathcal{B}[[b]]s = \mathbf{ff}, \end{aligned}$$

then

$$\text{cond}(\mathcal{B}[[b]], [[S_1]], [[S_2]]) = [[\text{if } b \text{ then } S_1 \text{ else } S_2]].$$

The function  $\text{cond}$  is a monotone function, then

$$\begin{aligned} \mathcal{S}_{ds}[[\text{if } b \text{ then } S_1 \text{ else } S_2]] &= \text{cond}(\mathcal{B}[[b]], [[S_1]], [[S_2]]) \sqsubseteq \\ &\sqsubseteq \text{cond}(\mathcal{B}[[b]], [[S_1]], [[S_2]]) = \\ &= [[\text{if } b \text{ then } S_1 \text{ else } S_2]]. \end{aligned}$$

The last case is a loop statement,  $S \equiv \text{while } b \text{ do } S$ . Denotation of a loop statement is

$$\mathcal{S}_{ds}[[\text{while } b \text{ do } S]] = \text{fix } F,$$

and

$$F g = \text{cond}(\mathcal{B}[[b]], g \circ \mathcal{S}_{ds}[[S]], \text{id}),$$

then

$$\begin{aligned} \mathcal{S}_{ds}[[\text{while } b \text{ do } S]] &= \text{fix } F = \\ &= F(\text{fix } F) = \\ &= \text{cond}(\mathcal{B}[[b]], \mathcal{S}_{ds}[[\text{while } b \text{ do } S]] \circ \mathcal{S}_{ds}[[S]], \text{id}) \sqsubseteq \\ &\sqsubseteq [[\text{while } b \text{ do } S]] \circ [[S]] = \\ &= \text{colim } \mathcal{D}' \circ [[S]] = \\ &= \text{colim } \mathcal{D} = \\ &= [[\text{while } b \text{ do } S]]. \end{aligned}$$

A step-wise construction of the categorical cone for representing the loop statement, given as follows

$$[[\text{while } b \text{ do } S]] \circ [[S]] = \text{colim } \mathcal{D}' \circ [[S]]$$

is depicted in Fig. 2. From this illustration, it follows that the colimits for partial diagrams  $\mathcal{D}'_i$ , where  $i \geq 0$ , while  $\mathcal{D}'_i \sqsubseteq \mathcal{D}$ , are equivalent to functions  $F^i \omega(s)$  for  $i \geq 0$  that are used for constructing the least fixed point and  $\omega$  stands for the smallest element of the partially ordered set of functions from state to state.

Next, we show the proof for the extended constructs in *Jane*. We have  $S \equiv \mathcal{S}'_{ds}[[\text{begin } D; S \text{ end}]]$ . Denotation of a block statement is

$$\mathcal{S}'_{ds}[[\text{begin } D; S \text{ end}]] \text{ envv } \text{store} = \mathcal{S}'_{ds}[[S]] \text{ envv}' \text{store}',$$



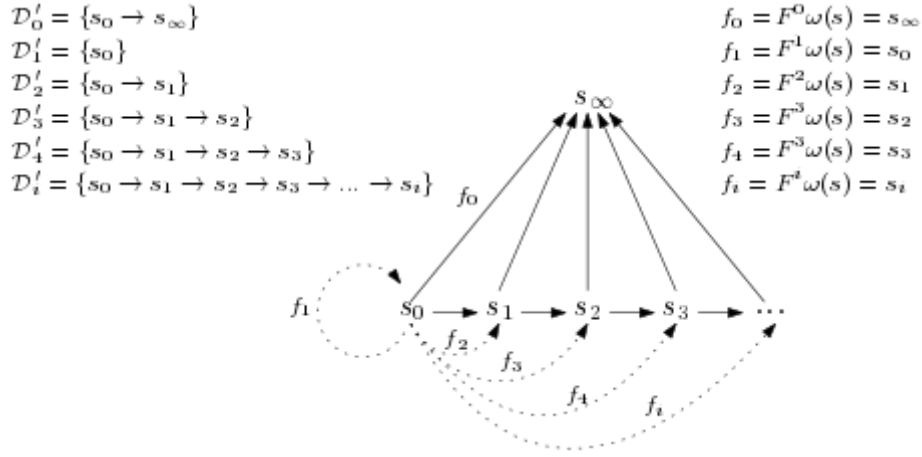


Fig. 2: Categorical cone for a loop statement in category

and

$$store \circ envv = s.$$

Categorical denotational semantics of block statement is the following composition of functions:

$$\llbracket \mathbf{begin} D; S \mathbf{end} \rrbracket s = \llbracket del \rrbracket \circ \llbracket S \rrbracket \circ \llbracket D \rrbracket (s \circ ((\mathbf{begin}, l + 1), \perp)),$$

and operation  $\llbracket del \rrbracket$ , defined

$$\llbracket del \rrbracket (s \circ \langle \langle (x_i, l_j), v_k \rangle, \dots, \langle (x_n, l_j), v_m \rangle \rangle) = s,$$

deallocates (forgets, releases) all the variables declared on the highest nesting level. For a declaration of variables  $D$  and statement  $S$  which is representing body of the block, we formulate the induction assumption, where

$$\begin{aligned} \mathcal{S}'_{ds} \llbracket D \rrbracket &\subseteq \llbracket D \rrbracket, \\ \mathcal{S}'_{ds} \llbracket S \rrbracket &\subseteq \llbracket S \rrbracket. \end{aligned}$$

Using the induction hypothesis,

$$\begin{aligned} \mathcal{S}'_{ds} \llbracket \mathbf{begin} D; S \mathbf{end} \rrbracket envv store &= \\ &= \mathcal{S}'_{ds} \llbracket S \rrbracket envv' store' \subseteq \\ &\subseteq \llbracket del \rrbracket \circ \llbracket S \rrbracket \circ \llbracket D \rrbracket (s \circ ((\mathbf{begin}, l + 1), \perp)) = \\ &= \llbracket \mathbf{begin} D; S \mathbf{end} \rrbracket s. \end{aligned}$$

The next construct is  $S \equiv \mathcal{S}'_{ds} \llbracket \mathbf{begin} D; Dp; S \mathbf{end} \rrbracket$ . Denotation of block with procedures is

$$\mathcal{S}''_{ds} \llbracket \mathbf{begin} D; Dp; S \mathbf{end} \rrbracket envv envp store = \mathcal{S}''_{ds} \llbracket S \rrbracket envv' envp' store',$$

and

$$store \circ envv = s.$$

Categorical denotational semantics of block statement with procedures is the following composition of functions:

$$\llbracket \mathbf{begin} D; Dp; S \mathbf{end} \rrbracket s = \llbracket del \rrbracket \circ \llbracket S \rrbracket \circ \llbracket Dp \rrbracket \circ \llbracket D \rrbracket (s \circ ((\mathbf{begin}, l + 1), \perp)),$$

and operation  $\llbracket del \rrbracket$ , defined

$$\llbracket del \rrbracket (s \circ \langle \langle (x_i, l_j), v_k \rangle, \dots, \langle (x_n, l_j), v_m \rangle \rangle) = s,$$

like for a block, it again deletes all the variables declared on the highest nesting level. For a declaration of variables  $D$ , declaration of procedures  $Dp$  and statement  $S$  which is representing body of the block, we formulate the induction hypothesis, where

$$\begin{aligned}\mathcal{S}'_{ds}[[D]] &\sqsubseteq [[D]] \\ \mathcal{S}'_{ds}[[Dp]] &\sqsubseteq [[Dp]] \\ \mathcal{S}'_{ds}[[S]] &\sqsubseteq [[S]]\end{aligned}$$

Using the induction hypothesis, we have

$$\begin{aligned}\mathcal{S}''_{ds}[\text{begin } D; Dp S \text{ end}] \text{ envv envp store} &= \mathcal{S}''_{ds}[[S]] \text{ envv}' \text{ envp}' \text{ store}' \sqsubseteq \\ &\sqsubseteq [[del]] \circ [[S]] \circ [[Dp]] \circ [[D]](s \circ ((\text{begin}, l + 1), \perp)) = \\ &= [[\text{begin } D; S \text{ end}]]s.\end{aligned}$$

The next statement is a procedure call,  $S \equiv \mathcal{S}''_{ds}[\text{call } p]$ . Denotation of the statement **call** is

$$\mathcal{S}''_{ds}[\text{call } p(e)] \text{ envv envp} = \text{envp } p,$$

where  $\text{envp}$  is a set of functions that assign a change of memory to each procedure name that occurs by executing a procedure body. Denotation of procedure declaration is

$$\begin{aligned}\mathcal{D}_{ds}[\text{proc } p \text{ is } Sp;] \text{ envv envp} &= \mathcal{D}_{ds}[\varepsilon] \text{ envv envp } [p \mapsto f] = \\ &= \text{envp } [p \mapsto f],\end{aligned}$$

where

$$f = \mathcal{S}''_{ds}[[Sp]] \text{ envv envp}.$$

Categorical denotational semantics of **call**  $p(e)$  is

$$[[\text{call } p(e)]] = (C(\text{call } p(e)) \circ [[S_p]]) \circ R,$$

where  $C$  is a functor, whose function is to call procedure  $p$  and  $R$  is functors which deletes local declarations and transfer any global variables changes to the category  $\mathcal{C}_{State}$ .

For the  $Sp$  statement representing the body of the procedure, we formulate the induction hypothesis where

$$\mathcal{S}''_{ds}[[Sp]] \sqsubseteq [[Sp]].$$

Using the induction assumption then

$$\begin{aligned}\mathcal{S}''_{ds}[\text{call } p(e)] \text{ envv envp} &= \text{envp } p = \\ &= f = \\ &= \mathcal{S}''_{ds}[[Sp]] \text{ envv envp} \sqsubseteq \\ &\sqsubseteq [[\text{call } p(e)]] = \\ &= (C(\text{call } p(e)) \circ [[S_p]]) \circ R = \\ &= [[\text{call } p(e)]].\end{aligned}$$

Q.E.D. □

#### IV. CONCLUSION

Categorical denotational semantic is presented based on categories of states. For this semantics, it is necessary to construct the category of states  $\mathcal{C}_{State}$  where states are objects and state changes are morphisms. The semantics of a program is defined as a composition of morphisms from the initial state into a final state and it is represented in our category as a path of morphisms that represent each program step.

In the first part of our paper, we extended the language *Jane* with procedures and defined the model as a collection of categories connected by functors for procedure calls and returns from procedures. Construction a collection of categories of states enables to model repeated calls of procedures, nesting of them and recursive calling. Our categorical model can express

the dynamics of program execution and has nice illustrative power when expressing the execution of programs graphically step by step.

In the second part of our paper, we showed how to prove the equivalence of denotational and categorical denotational semantics for the *Jane* language statements by structural induction. Because of the shortening of this paper, we showed only the first step of equivalence.

#### ACKNOWLEDGMENT

*This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract No. SK-AT-2017-0012: Semantics technologies for computer science education.*

#### REFERENCES

- [1] J. E. Stoy, *Denotational Semantics: The Scott-Strachey Approach to Programming Language Theory*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1977.
- [2] D. Schmidt, *Denotational Semantics: a Methodology for Language Development*. Allyn and Bacon, 1986.
- [3] W. Steingartner and V. Novitzká, *Sémantika programovacích jazykov*. Technická univerzita v Košiciach, 2015.
- [4] V. Novitzká, *Sémantika programov*. Košice: Elfa, 2001.
- [5] W. Steingartner, V. Novitzká, M. Bacíková, and S. Korecko, “New approach to categorical semantics for procedural languages,” *Computing and Informatics*, vol. 36, no. 6, pp. 1385–1414, 2017.
- [6] W. Steingartner and V. Novitzká, “Categorical semantics of programming languages.” *Selected Topics in Contemporary Mathematical Modeling*, pp. 167–192, 2017.
- [7] W. Steingartner and V. Novitzká, “A new approach to operational semantics by categories,” in *Proceedings of the 26th Central European Conference on Information and Intelligent Systems, CECIIS 2015*. University of Zagreb, Varaždin, 2015.
- [8] H. R. Nielson and F. Nielson, *Semantics with applications*. Springer Verlag London Ltd, 2007.
- [9] M. Lukáč, “An extension of denotational semantics for imperative languages,” Master’s thesis, Technical University of Košice, 2019.

# Využitie inteligentného priestoru pre vzdialene ovládanú robotiku

Ján VAŠČÁK

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

jan.vascak@tuke.sk

**Abstrakt** — Kým koncept Internetu vecí (IoT) preniká do priemyslu a aj do našich každodenných životov, využitie z neho vznikajúcich technológií a možností sa stáva viac a viac výhodným. Tento článok sa venuje možnosti kombinácie dát a služieb IoT so vzdialene ovládanou robotikou použitím konceptu Inteligentného priestoru (IS). Problematika je ozrejmnená na konkrétnom príklade možnej aplikácie v podobe navigácie vzdialene ovládaného robota v IS.

**Kľúčové slová** — cloud, inteligentný priestor, internet vecí, navigácia, robot

## I. ÚVOD

Termín Internet vecí (Internet of Things – IoT) v poslednom čase rýchlo naberá na popularite naprieč IT sektorom. Hlavnou podstatou IoT je prepojenie rôznych objektov ku komunikačnej sieti (zvyčajne Internetu), spolu s rôznymi druhmi senzorov, aktuátorov atď. IoT zariadenia na komunikáciu zvyčajne využívajú bezdrôtové technológie. Komunikácia prebieha buď medzi týmito zariadeniami, alebo medzi zariadením a decentralizovanou databázou, na ktorej sú všetky dáta uložené a spracované pre neskoršie použitie.

Hlavnou silou myšlienky IoT je jej vplyv na mnohé aspekty každodenného života používateľov. Ovplyvňuje domácných aj profesionálnych používateľov. Ako oblasti využitia, v ktorých bude mať IoT značnú dôležitosť, môžeme uviesť napr. tzv. smart cities, elektronické zdravotníctvo, či rôzne podporné prostriedky pre zdravotne postihnuté osoby, t.j. oblasť známu ako assisted living [1]. Z perspektívy podnikania bude IoT mať prínos prevažne v oblastiach ako priemyselná výroba, logistika, automatizácia a inteligentná doprava [2].

Z technologického hľadiska implementácia IoT zvyčajne zahŕňa kombináciu viacerých softvérových a hardvérových komponentov usporiadaných vo viacvrstvovom celku, ktorý je zvyčajne rozdelený do týchto troch vrstiev: vec, komunikačné protokoly, cloud.

## II. INTELIGENTNÝ PRIESTOR

Inteligentný priestor (Intelligent Space – IS) opisuje miesto, kde je rozložených množstvo senzorov a inteligentných zariadení (zväčša IoT zariadenia), prepojených pomocou komunikačných technológií. Za IS môžeme považovať miestnosť, chodbu alebo ulicu vybavenú senzormi a aktuátormi. Hlavným účelom snímačov je zhromažďovať údaje o tom, čo sa deje v prostredí, konkrétne o tom, čo robia používatelia. Sensory môžu byť aktívne alebo pasívne. Aktuátory slúžia na interakciu s ľuďmi a poskytovanie fyzickej podpory [3]. Jedným z najčastejšie používaných zariadení v IS sú kamery. Napríklad, za pomoci neurónových sietí môžeme identifikovať objekty a určiť prítomnosť osôb, alebo navrhnúť postupnosť akcií a to aj v dynamickom prostredí [4]. Keďže spracovanie obrazu z kamier nie je 100% presné a závisí od svetelných podmienok, IS používajú na zlepšenie presnosti aj iné technológie. Používané sú napríklad RFID čítačky / karty, snímače vzdialenosti, stereoskopické kamery, či lasery [5], [6].

Mobilné roboty môžu byť použité ako agenty na interakciu a obsluhu ľudských používateľov v podobe osobných asistentov [7]. Tieto mobilné roboty využívajú dáta poskytnuté IS na plnenie svojich úloh a prístup k ďalším informáciám o svojom okolí, ako sú napr. umiestnenie objektov, pozície ľudí a iných robotov alebo podmienky v miestnostiach (teplota, vlhkosť atď.). Asi najužitočnejším prínosom IS je ale pravdepodobne možnosť Telerobotiky a navigácie.

### III. VŠEOBECNÉ POŽIADAVKY NA INFRAŠTRUKTÚRU

Požiadavky na implementáciu IS konceptu sa všeobecne dajú rozdeliť do 4 kategórií [8]:

- senzory / aktuátory,
- Internetová brána,
- edge IT,
- dátové centrum a cloud.

Senzory poskytujú informácie o prostredí. Napríklad pre navigačné účely v meniacom sa prostredí sú nevyhnutné pri zisťovaní prekážok a získavaní informácií o okolí potrebných na lokalizáciu. Senzory môžu byť rozdelené na aktívne a pasívne. Aktívne senzory vysielajú signál, ktorý sa potom odráža od prostredia, napr. ultrazvuk, LIDAR, atď. Pasívne senzory naopak len zhromažďujú informácie z prostredia bez vysielania, napr. kamera, infračervený snímač, modul GPS, atď.

Pasívne snímače používané na navigáciu v interiéroch zahŕňajú inerciálne senzory, akcelerometre, gyroskopy, magnetometre, WiFi RSS meranie pomocou antény, kamery a pod. Aktívne senzory používané na navigáciu zahŕňajú ultrazvukové snímače, 2D skenery a pod. [9].

Pre zmysluplné ovládanie IS je potrebný systém, ktorý distribuuje informácie zo senzorov do výpočtových jednotiek, ktoré vykonávajú rozhodnutia na základe týchto informácií. Snímače môžu byť umiestnené v blízkosti výpočtovej jednotky a priamo na ňu pripojené. Tento prístup je ale z hľadiska zdieľania informácií a hardvérových požiadaviek často nevhodný. Na vyriešenie tohto problému boli zavedené snímače IoT, ktoré sú schopné zdieľať informácie výpočtovým jednotkám prostredníctvom siete [8]. Avšak dôsledkom použitia IoT senzorov je potreba mať zavedenú infraštruktúru na zdieľanie informácií, nazývaná aj internetová brána. Najčastejšie sa používa sieť WLAN založená na WiFi routeroch alebo LAN, založená na pripojení cez Ethernet [8].

Edge IT systémy sú implementované do siete IS na spracovanie dát s hlavným účelom minimalizovať toky a redundanciu v dátach. Preto sa fyzicky umiestňujú do blízkosti samotných senzorov a za týmto účelom vykonávajú rôzne predspracovanie dát (napr. filtráciu, či kompresiu) a môžu taktiež poskytovať rôzne analýzy dát [8]. Keďže edge IT systémy predstavujú istú hranicu, resp. hranu medzi operačným prostredím senzorov a aktuátorov a samotným IT prostredím, tak sa vžil pojem „edge“, resp. „fog“ ako metafora pre priestor medzi dvomi oblasťami.

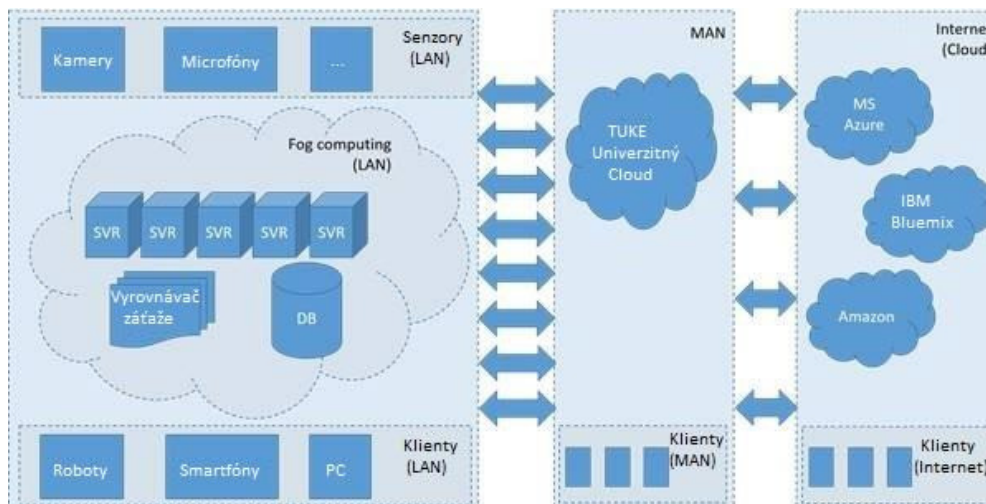
Ak sa nevyžaduje okamžitá spätná väzba, potom cloudovo založené systémy a dátové centrá môžu byť použité na podrobnejšie spracovanie. Tieto cloudové služby môžu poskytnúť výkonnejší IT systém na analýzu, správu a bezpečné ukladanie dát odvíjajúce sa od potrieb používateľa [8], [10].

### IV. NAVRHOVANÁ IOT INFRAŠTRUKTÚRA PRE ROBOTICKÉ ÚLOHY

Konštrukcia daného IS závisí od účelu jeho použitia a od rozsahu a typu prostredia (vnútorného alebo vonkajšieho), ktoré by mal IS pokryť. Keďže hlavným účelom je používanie IS pre robotické úlohy ako sensorický nástroj pre rôzne typy robotov, ktoré by mohli vzájomne spolupracovať, tak hlavné typy snímačov by mali byť schopné ponúkať vizuálne a trojrozmerné priestorové informácie. Ďalšie typy senzorov majú viac-menej pomocnú úlohu. Ďalšie aspekty dizajnu IS týkajúce sa komunikačnej siete, hardvéru a softvéru sú opísané nasledovne.

Navrhovaná sieťová infraštruktúra pozostáva zo senzorov, klientov a servera pre tzv. fog computing [11]. Ako súčasť univerzitnej siete má prístup k službám poskytovaných univerzitou. Okrem toho môže použiť aj externé služby, napr. cloudy od spoločností Microsoft, IBM a Amazon, vid' obr. 1. V tomto návrhu sa teda jedná o zmiešanú infraštruktúru, kde je si možné vybrať, či nasnímané dáta budú spracovávané priamo na mieste, t. j. s využitím fog computingu, alebo budú posielané rovno na cloud. Väčšinou základným kritériom je množstvo dát, ktoré musí byť spracované. Napr. v prípade kamier, či hĺbkových skenerov (napr. Kinect), ktoré produkujú veľké množstvá dát, je výhodnejšie tieto spracovať hneď na mieste s využitím mini PC. V súčasnosti je preto každý hĺbkový skener napojený na vlastné mini PC, kde sa vyextrahujú len tie najdôležitejšie údaje a tie môžu byť potom prenesené na cloud. V prípade cloudových riešení sa znovu ponúkajú de možnosti. Buď sa zozbierané a predspracované údaje priamo pošlú na niektorý z komerčných cloudov (napr. Azure, Bluemix, a pod.), alebo sú uložené a ďalej spracovávané na privátnom univerzitnom cloude, ktorý je v súčasnosti v štádiu tvorby.

Štandardný IS je navrhnutý pre úlohy s viacerými mobilnými robotmi. V našom prípade sú to roboty Nao, Lego Mindstorms, Turtlebot 2 a Qbo. Pre zlepšenie presnosti lokalizácie robota bola vyvinutá prenosná RFID čítačka s vstavaným Bluetooth, ktorá môže byť pripojená k šasi robota.



Obr. 1 Vlastná navrhnutá IoT infraštruktúra pre robotický IS.

Toto funguje v spojení s RFID kartami integrovanými v podlahe IS. Pozícia používateľa v IS je určená pomocou modifikovaných topánok, ktoré taktiež obsahujú čítačku RFID kariet. Pomocou vstavaného Bluetooth môžu tieto čítačky posilať dáta do cloudu, z ktorých potom môže robot určiť svoju pozíciu alebo pozíciu používateľa v budove. Potom, čo je užívateľ lokalizovaný, ho môže robot sprevádzať na požadované miesto. Na detekciu neočakávaných situácií (napríklad veľké objekty prenášané cez malú chodbu) sú senzory použité na sledovanie hál a informovanie robotov o prekážkach v ceste. Môže sa jednáť hlavne o hĺbkové skenery, ale do úvahy prichádzajú aj iné prostriedky. Napr. najnovším typom sensorov sú iBeacons založené na technológii Bluetooth. Jedná sa o vysielače podobné rádiovým jarkom, ktoré môžu prenášať isté množstvo informácií (napr. o objekte, na ktorom sa nachádzajú) a ktorých pozíciu je možné určiť na základe sily a smeru prichádzajúceho signálu. Schému celkovej realizácie IS aj s niektorými technickými detailmi je možné vidieť na obr. 2.

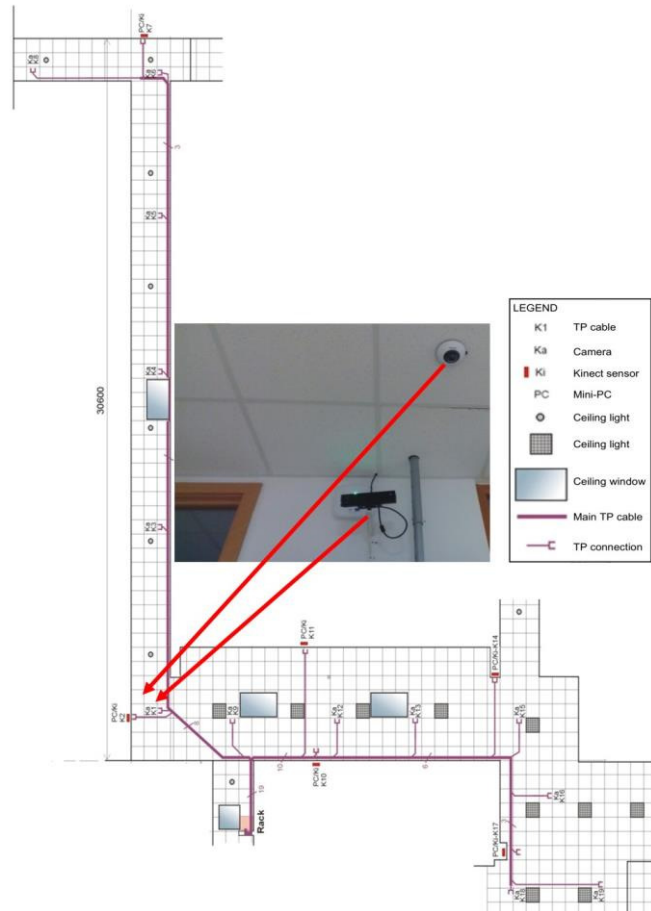
## V. POTENCIÁLNE APLIKÁCIE VZDIALENE OVLÁDANEJ ROBOTIKY V INTELIGENTNOM PRIESTORE

Jednou z výhod implementácie IS je zníženie množstva snímačov, ktoré musí robot so sebou niesť. Vo vnútri IS je robot schopný využívať dáta zo snímačov v prostredí alebo z iného blízkeho robota. Ak má byť snímač umiestnený na robotovi, jeho použitie môže byť ďalej rozšírené, aby poskytovalo nepretržité aktualizovanie údajov o prostredí. Taktiež využitím existujúcej infraštruktúry sa šetria náklady a pracovný čas. Keďže naša sieť má stabilnú infraštruktúru založenú na viacerých WiFi routeroch pripojených na lokálnu sieť LAN a internet, je naša celková infraštruktúra pripravená na implementáciu programov a algoritmov. Táto sieť môže byť použitá na zdieľanie informácií medzi našimi zariadeniami a tiež ako zdroj informácií všeobecne o snímanom prostredí, využiteľných aj externými užívateľmi a aplikáciami.

Konečným cieľom je preskúmať možnosti zlepšenia lokalizácie používateľov a robotov v IS a pomôcť robotom navigovať v našich laboratórnych priestoroch, pričom sa snažíme dosiahnuť lokalizačnú presnosť s chybou menšou ako 1 meter. S týmto je aj spojená snaha navrhnúť IS univerzálnym pre všetkých dostupných robotov a tiež pre prípadné budúce roboty. Toto tiež vedie k zjednoteniu použitých softvérových prostriedkov, napríklad použitím softvérovej medzivrstvy (middleware) ROS (Robot Operating System) v našich robotoch [12].

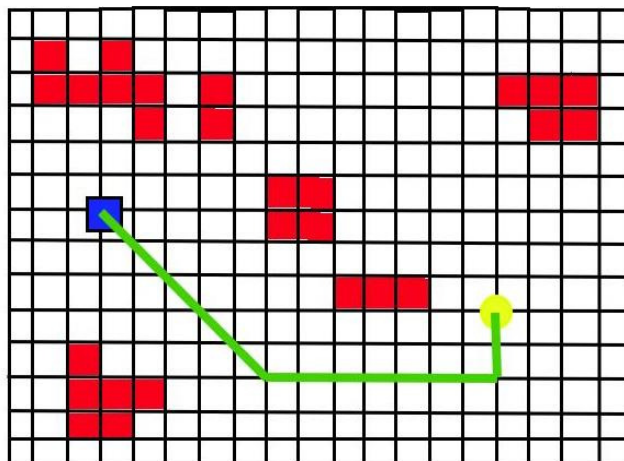
Na základe uvedených požiadaviek a cieľov budeme mať jeden server pripojený k lokálnej sieti, ktorý bude zbierať dáta z robotov a snímačov. Server bude uchovávať a aktualizovať mapu prostredia a bude tiež poskytovať údaje o polohe na základe požiadaviek od robotov. Komunikácia typu robot-server bude prebiehať cez lokálnu sieť prostredníctvom protokolu TCP/IP s preddefinovanou štruktúrou správ.

Hĺbkové skenery nám umožňujú používať algoritmy TLD (Tracking Learning Detection) a určiť polohu robota na mape (modrá farba na 3). TLD je rámec (framework) určený na dlhodobé sledovanie neznámeho objektu vo video obraze. Komponenty tohto rámca sú charakterizované nasledovne:



Obr. 2 Schéma navrhnutého IS so zobrazením nainštalovanej IP kamery (hore) a hĺbkového skenera Kinect (dole).

1. *Tracker* odhaduje pohyb objektu medzi po sebe idúcimi snímkami za predpokladu, že pohyb medzi snímkami je dostatočne pomalý a objekt je viditeľný. Tento komponent však ale pravdepodobne zlyhá a už sa nezotaví, ak sa objekt presunie mimo zorné pole kamery.
  2. *Detektor* považuje každý snímok za nezávislý a vykonáva úplné skenovanie obrazu na lokalizáciu všetkých objektov, ktoré boli pozorované a naučené v minulosti [13].
- Použitím hĺbkového obrazu a farebného obrazu je možné identifikovať prekážky a ich polohy v oblasti pokrytej IS odfiltrovaním podľa farby a vzdialenosti od podlahy (červená farba na 2). Po vykonaní týchto krokov môžeme určiť cestu (zelená farba na obr. 3), po ktorej sa robot môže dostať na určený cieľ (žltá farba na obr. 3).



Obr. 3 Navigácia robota v IS.



Na základe spomínaných schopností navrhovaného IS môžeme zhrnúť nasledujúce skupiny úloh, ktoré je možné riešiť:

1. Prediktívne vyhýbanie sa prekážkam (vrátane vyhýbania sa davu), navigácia a plánovanie ciest v súvislosti so zložitejšími úlohami, ako je sprevádzanie osoby.
2. Úlohy tzv. kooperatívnej robotiky, ktorá ponúka možnosť spolupráce robotov s rôznymi vlastnosťami a schopnosťami a taktiež úzko súvisí s problematikou multiagentových systémov.
3. Prepojenie robotov s konceptom takzvanej inteligentnej budovy, t. j. robot, ktorý ponúka služby pomocnej pracovnej sily pri riadení činností v budove.
4. Interakcia človek-robot-prostredie, ktorá umožňuje komunikáciu a ponúka tieto služby priamo človeku v závislosti od jeho potrieb a stavu (napríklad možnosť zohľadňovať emocionálne stavy a zdravotné podmienky daného človeka).

## VI. ZÁVER

V tomto článku bol opísaný návrh štruktúry IS obsahujúceho IP kamery a senzory typu Kinect pripojené k mini-PC. V súčasnosti pracujeme na spracovávaní dát zo senzorov na mini-PC, ich prenose na dátový server a použití telepresenčných zariadení v laboratóriu na zobrazovanie dát zo senzorov. Ďalej, bola testovaná lokalizácia založená na hodnotách WiFi RSSI.

V ďalšom bude výskum zameraný na lokalizáciu pomocou hodnôt RSSI z WiFi alebo Bluetooth ako aj z obrazov z kamier. Medzi ďalšími úlohami bude figurovať aj vytvorenie univerzálneho servera pre spracovanie údajov a posielanie spracovaných dát alebo mapy prostredia na cloud.

## POĎAKOVANIE

Publikácia bola podporená projektom VEGA 1/0663/17 – Inteligentné kyber-fyzikálne systémy v heterogénnom prostredí s podporou IoE a cloudových služieb.

## LITERATÚRA

- [1] Z. C. Johanyak, "Real-World Software Projects as Tools for the Improvement of Student Motivation and University-Industry Collaboration", International Conference on Industrial Engineering, Management Science and Applications (ICIMSA), 2016, pp. 1-4.
- [2] L. Atzori et al., "The Internet of Things: A survey", Computer networks 54, no. 15 (2010): 2787-2805.
- [3] J.-H. Lee and H. Hashimoto. "Intelligent Space - Its concept and contents -", Advanced Robotics Journal. Vol. 16. No. 4, 2002.
- [4] D. Balara, J. Timko and J. Žilková, "Application of neural network model for parameters identification of non-linear dynamic system", Neural network world, Vol. 23, No. 2, 2013, pp. 103-116.
- [5] J. Hvizdoš, J. Vaščák and A. Březina, "Object Identification and Localization by Smart Floors", IEEE 19th International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES), 2015, pp. 113-117.
- [6] J. Vaščák, J. Hvizdoš and M. Puheim: "Agent-Based Cloud Computing Systems for Traffic Management", 2016 International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS), Ostrava, 2016, pp. 73-79.
- [7] K. Morioka, J. H. Lee and H. Hashimoto. "Human Centered Robotics in Intelligent Space", 2002 IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA'02), May, 2002, pp.2010-2015.
- [8] The 4 stages of an IoT architecture. [Online]. Available: <http://techbeacon.com/4-stages-iot-architecture>
- [9] K. Khoshelham and S. Zlatanova, "Sensors for Indoor Mapping and Navigation", Sensors, vol. 16, 2016.
- [10] G. Andonovski, G. Music, S. Blazic and I. - Skrjanc, "On-line Evolving Cloud-based Model Identification for Production", 4th IFAC Conference on Intelligent Control and Automation Sciences (ICONS), 2016, IFAC Paperonline Vol. 49, No. 5, pp. 79-84.
- [11] F. Bonomi, R. A. Milito, J. - Zhu and S. Addepalli, "Fog computing and its role in the internet of things", Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing (MCC@SIGCOMM), Helsinki, Finland, 2012, pp. 13-16.
- [12] E. I. Voisan, B. Paulis, R. E. Precup and F. Dragan, "ROS-Based Robot Navigation and Human Interaction in Indoor Environment", IEEE 10th Jubilee International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI), 2015, pp. 31-36.
- [13] Z. Kalal, K. Mikolajczyk and J. Matas, "Tracking-learning-detection.", IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 34(7), 2012, pp.1409-1422.

# Data Mining Techniques for Medical Data

<sup>1</sup>Daniela ČUROVÁ, <sup>2</sup>Ján VAŠČÁK

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

<sup>1</sup>daniela.curova@student.tuke.sk, <sup>2</sup>jan.vascak@tuke.sk

**Abstract** — The aim of this paper is to compare wrapper methods for feature selection and their impact on accuracy of data mining methods. First part focuses on data mining itself and its position in the medical field and the second part focuses on creation of data mining models and how to tune them in R Studio. Data mining models are evaluated and compared on data sets with different number of input features. Data mining models are tuned on the same data sets and experimental results are compared.

**Keywords** — algorithm tuning, classification, data mining, medical data mining

## I. INTRODUCTION

Data mining is a study of collecting, cleaning, processing, analysing and gaining useful information from data [1]. There are many ways how to describe data mining and it depends on the area, where data mining is used and its applications. It is used for describing various aspects of data pre-processing and it is usually confused with knowledge discovery from databases, which consists of these steps [1], [2]:

1. data understanding – identification of the goals of the project, which are needed to be feasible, understanding of application domain is also crucial,
2. data cleaning – data sets usually consist of data from various sources and it is possible that data are noised, there are irrelevant data or missing values, there can be outliers and it is needed to prepare data for next steps in the knowledge discovery process,
3. data integration – data can be combined from multiple sources and placed into a common source,
4. data selection – data relevant for analysis are chosen and retrieved from data sets,
5. data transformation – transformation of data into a form required by mining procedure,
6. data mining – intelligent methods are applied on data to extract patterns, which are potentially useful, deciding whether the goal of knowledge discovery is of a classification or a regression type, choosing the data mining algorithm, deciding, which models and parameters may be appropriate,
7. pattern evaluation – consists of finding interesting patterns, which represent knowledge,
8. knowledge representation – various visualization tools to represent data mining results, knowledge is presented to user.

Steps 2-5 are various forms of data pre-processing, where data are prepared for data mining. Knowledge discovery in databases shows data mining as one step, which reveals patterns and relationship between data. In other sectors like industry, media and in research the concept of data mining is often used for whole knowledge discovery in databases process. It is a creative process, which requires various skills and knowledge. For business purposes there was introduced a unified process model created by Daimler Chrysler in 1999 and it is called CRISP-DM, which is one of the most used methodologies today.

## II. DATA MINING IN MEDICAL FIELD

Extensive quantity of knowledge and data stored in medical databases require to generate specialized methods for data access, data analysis and knowledge discovery. There are many problems with medical data. Raw medical data are voluminous and heterogeneous and may be

collected from images, laboratory data, physician's observations and interpretations [3]. All of these components can affect diagnosis, prognosis and treatment of the patient. This is one of the reasons, why data mining is in the medical field difficult and sensitive. Various procedures in medicine are using images as diagnostic tools, which generate large volumes of data and data mining visualization tools are needed for easier interpretation. Another problem is the privacy and security of human data. Data mining itself is not ethically problematic. Ethical dilemmas are present if data are from human subjects. Many patients are afraid of using and distributing their data to third parties or that they will be used for marketing reasons. These are only some of the problems, which are in the medical data mining and this is reason why there are limited data sets, which are freely available. When data mining techniques are applied in the medical field then potentially useful information can be extracted and it can reduce human effort and also increase diagnostic accuracy.

### III. DESIGN AND IMPLEMENTATION

In this chapter various data mining techniques are used for data pre-processing and their impact on accuracy of various classification models.

#### A. Data understanding

Datasets used in this study are freely available at kaggle.com or at UCI machine learning repository. As the first dataset is used Wisconsin diagnostic breast cancer and consists of 32 features. This data set was created by Dr. William H. Wolberg, a physician at the University of Wisconsin Hospital at Madison, USA. In order to create the dataset Dr. Wolberg used fluid samples, taken from patients with solid breast masses and a graphical computer program called *Xcvt*, which is capable to perform the analysis of cytological features based on a digital scan. The program uses a curve-fitting algorithm, to compute ten features of individual cells in the sample, then it calculates the mean value, extreme values and the standard error of each feature of the image, returning a 30 real-valuated vector. There are no missing values present. Target variable is the diagnosis and it is unevenly distributed. The proportion of malignant samples to benign is 37% to 63%.

The second dataset is Pima Indians diabetes and the objective of the dataset is to diagnostically predict whether or not a patient has diabetes, based on certain diagnostic measurements included in the dataset. The Pima are a group of Native Americans living in Arizona. A genetic predisposition allowed this group to survive normally to a diet poor of carbohydrates for years. In the recent years, because of a sudden shift from traditional agricultural crops to processed foods, together with a decline in physical activity, the highest prevalence of type 2 diabetes was developed and for this reason they have been subject of many studies. Pima Indians diabetes dataset consists of 9 features and the target variable is an outcome, which is also unevenly distributed, 65% of samples are negative (patient does not have diabetes) and 35% of samples are positive. The number 1 indicated that a person has been diagnosed with diabetes and 0 indicates that a person has not been diagnosed with diabetes. The dataset does not have any missing values.

#### B. Data preparation

The Wisconsin diagnostic breast cancer data do not have missing values. The Attribute ID was deleted, which is the identifier and there is no information value.

The Pima Indians diabetes dataset does not have missing values but on a deeper analysis, the dataset revealed many abnormal values for biological measures. Variables such as Skin Thickness and Glucose had 227 and 374 zero-values, respectively and those values are not possible in a real life. The fact that both measures cannot hold zero values indicates that the missing values in the dataset were represented as zero values. The missing values in the dataset constituted to about 234 rows of the observations in the dataset. As removing these values would result in significant information loss, K Nearest Neighbours (KNN) imputation was performed to impute the missing values in the data set. Only obvious wrong values in the dataset, the zero values, were imputed. The attribute number of pregnancies was skipped because it is possible to have zero pregnancies.

#### C. Feature selection

It is a process of selecting a subset of relevant features for use in model construction. Feature selection is often used in data pre-processing to identify relevant features and removes irrelevant or redundant features, which do not have any significance in classification task. It is a sensitive task in the medical data mining but it can significantly improve the model accuracy. In this study, two techniques of feature selection were used: simulated annealing and recursive feature

elimination. Also one technique of feature extraction was used: principal component analysis. These techniques are used for creating a dataset with less features than they are in the original dataset. The aim is to achieve the same accuracy, or if not better, with less features in the dataset.

**Simulated annealing** is a global search method that makes small random changes to an initial candidate solution. If the performance value for the perturbed value is better than the previous solution, then the new solution is accepted. If not, then an acceptance probability is determined based on the difference between the two performance values and the current iteration of the search [4].

**Recursive feature elimination** is a feature selection method that fits a model and removes the weakest feature or features until the specified number of features is reached. Stability of recursive feature elimination is based on used model. A *Random Forest* algorithm is used on each iteration to evaluate the model with Pima Indians diabetes dataset and *Naïve Bayes* is used with Wisconsin diagnostic breast cancer.

**Principal component analysis (PCA)** is a feature extraction technique and it is a statistical procedure that uses an orthogonal transformation to convert a set of observations of possibly correlated variables into a set of values of linearly uncorrelated variables called principal components. The number of principal components is less than or equal to the number of original variables. In other words, PCA tries to identify the subspace, which the data approximately lies in [5]. In this study, principal components are used for classification.

Table 1 shows how many features were kept after applying different feature selection techniques. The simulated annealing technique selected the lowest number of features in both datasets and the greatest difference can be seen at Wisconsin Diagnostic Breast Cancer dataset more than at Pima Indians Diabetes dataset. Principal component analysis was used on both datasets and we kept principal components instead of features. Each technique was applied only on training data because using the whole dataset for feature selection or extraction can create results, which are biased.

Table 1  
 Number of selected features using different techniques

| Dataset                                      | Number of attributes |
|--|----------------------|
| Cancer original                              | 32                   |
| Diabetes original                            | 9                    |
| Cancer after recursive feature elimination   | 22                   |
| Cancer after simulated annealing             | 11                   |
| Diabetes after recursive feature elimination | 5                    |
| Diabetes after simulated annealing           | 4                    |
| Cancer after principal component analysis    | 7                    |
| Diabetes after principal component analysis  | 6                    |

#### D. Modelling

In this study four algorithms were used and they were tuned in R Studio [6], see Fig. 1:

**KNN** – algorithm is a simple, easy-to-implement supervised machine learning algorithm, it classifies new data points based on similarity measures. It is commonly used for its easy of interpretation and low calculation time. Classification is done by a majority vote to its neighbours. The data is assigned to such a class, which has the most nearest neighbours. K is a user-defined constant and it can greatly influence model's accuracy. The tuning was done with caret package in R Studio, where parameters range and tune length were defined and different values of neighbours were chosen, which had impact on accuracy.

**C5.0** – extends C4.5 algorithm, the model itself comprises a series of logical decisions with decision nodes, which split into branches that indicate decision's choices. Leaf nodes denote results of a combination of decisions. The decision trees under the C5.0 algorithm perform generally nearly as well but are much easier to understand and deploy. In R Studio C5.0 was created using C50 package, where parameter trials were tuned, which specify number of boosting operations.

**Random forest** – it is a supervised algorithm, which is made of many decision trees, they are ensembles of decision trees, each decision tree created by using a subset of attributes used to classify a given population. Those decision trees vote on how to classify a given instance of input data, and the random forest bootstraps those votes to choose the best prediction. The parameter *mtry* was tuned in order to reach higher accuracy.

**Support Vector Machine (SVM)** –The objective of the support vector machine algorithm is

to find a hyperplane in an N-dimensional space that distinctly classifies the data points. It is commonly used for classification problems for its high accuracy with less computation power. The parameters  $\gamma$  and  $cost$  were tuned.

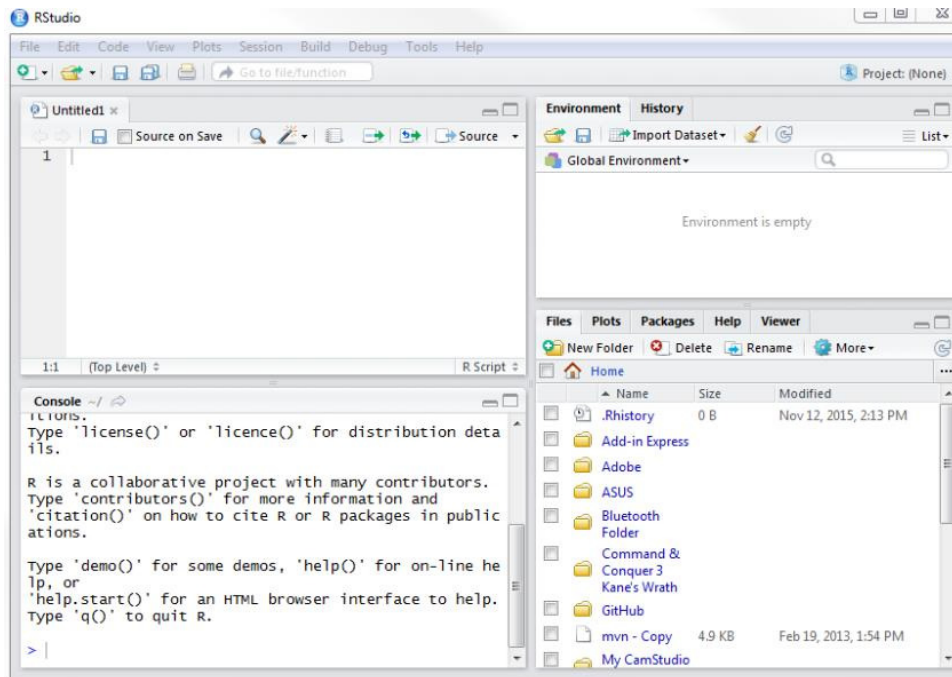


Fig. 1 An example of R Studio environment.

For better comparison algorithms were applied also on datasets with all original features but parameter tuning with was performed on datasets with less features and accuracy changes were observed. Results were displayed in a confusion matrix, see Fig. 2. Also the value “*false positive*” was observed, which is one of the most important values, when it comes to the medical data mining.

|              |          | Prediction outcome |          |
|--------------|----------|--------------------|----------|
|              |          | positive           | negative |
| Actual value | positive | $TP$               | $FN$     |
|              | negative | $FP$               | $TN$     |

Fig. 2 Confusion matrix, TP – true positive, FN – false negative, FP – false positive, TN – true negative.

#### IV. EXPERIMENTAL MODEL EVALUATION

Table 2 shows that the dataset with all features has lower accuracy than other techniques. The dataset reduced by the recursive feature elimination has highest accuracy of all other models except C5.0, where the highest accuracy was achieved at a dataset reduced by simulated annealing, which is the most stable one. The principal component analysis shows best accuracy with SVM algorithm.

Table 3 shows overall accuracy computed on diabetes datasets, where the highest accuracy was achieved at the dataset reduced by the recursive feature elimination, which is similar to the cancer dataset. Principal component analysis’s results are much worse than other techniques. SVM is the best model for both datasets, where it can achieve the highest accuracy with reduced datasets.

Table 2  
 Wisconsin Diagnostic Breast Cancer dataset accuracy of models

| Dataset                              | C5.0<br>accuracy | SVM<br>accuracy | KNN<br>accuracy | Random Forest<br>accuracy |
|--------------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|---------------------------|
| Cancer original                      | 94,12%           | 97,06%          | 95,88%          | 95,88%                    |
| Cancer recursive feature elimination | 95,29%           | <b>98,24%</b>   | <b>96,47%</b>   | <b>97,06%</b>             |
| Cancer simulated annealing           | <b>96,74%</b>    | 96,74%          | 94,12%          | 96,74%                    |
| Cancer principal components          | 96,46%           | <b>98,24%</b>   | 95,88%          | 95,88%                    |

Table 3  
 Pima Indians Diabetes dataset accuracy of models

| Dataset                                | C5.0<br>accuracy | SVM<br>accuracy | KNN<br>accuracy | Random<br>Forest<br>accuracy |
|--|------------------|-----------------|-----------------|------------------------------|
| Diabetes original                      | <b>77,83%</b>    | 76,96%          | 75,65%          | 75,22%                       |
| Diabetes recursive feature elimination | 76,96%           | <b>81,3%</b>    | <b>76,52%</b>   | <b>77,39%</b>                |
| Diabetes simulated annealing           | 77,39%           | <b>81,3%</b>    | 76,09%          | 74,78%                       |
| Diabetes principal components          | 73,04%           | 78,7%           | 71,74%          | 70,43%                       |

Importance of the data-preprocessing step in CRISP-DM methodology was shown. Feature selection is essential not only at datasets with many features but it can improve accuracy of datasets with small numbers of features, where the feature selection can be a difficult task. With a smaller dataset it is much harder to avoid overfitting and outliers become more dangerous. The accuracy was much higher on datasets, where the feature selection was applied. For comparison, we used one of the most used feature extraction techniques of principal component analysis. With a larger dataset, where most important principal components were chosen, the accuracy was almost as high as with a simple feature selection technique. What is important is that we can use principal components for classification but it is much harder to determine, which feature contributes at most, since principal components are synthetic features and they consist of combinations of original features. With a larger datasets with many features, such a method is convenient, when it comes to visualization and modelling but with a diabetes dataset, which has smaller number of features, the principal component analysis was the less successful method and we can consider that it is not a suitable method for smaller datasets.

## V. CONCLUSIONS

Data mining is important for the area of medicine and the knowledge that we obtain from large medical databases can be used for making successful decisions. Medical data mining is much harder than data mining in any other field, mostly because of nature of data, which are heterogeneous, voluminous and there are ethical issues, too. Data mining in medical field requires appropriate technologies and analytical techniques and therefore it is very challenging. As shown when appropriate methods are used we can obtain a much higher accuracy, which is crucial in order to help patients and to support physician's diagnosis. It can extend life, therefore accuracy is the most important value in the field of medical diagnosis. In this study results of the feature selection, which was applied on two datasets with different numbers of features show, that data-preprocessing enhances accuracy of classification. In order to compare the feature extraction technique with feature selection techniques, the principal component analysis was used and on the cancer datasets it shows a high accuracy but it is not suitable for a dataset with only a few features.

## ACKNOWLEDGMENT

This work is financially supported by the Scientific Grant Agency of MŠVVaŠ SR and SAV by project VEGA No. 1/0663/17 - Intelligent Cyber-Physical Systems in Heterogeneous Environment with Support of IoE and Cloud-Based Services.

## REFERENCES

- [1] C. C. Aggarwal, *Data Mining*. Springer International Publishing. ISBN: 978-3-319-14141-1, 2015.
- [2] J. Han, M. Kamber, J. Pei, *Data mining: concepts and techniques*. Burlington: Elsevier Science. ISBN: 978-0-12-381479-1, 2011.
- [3] K. J. Cios, G. W. Moore, *Uniqueness of medical data mining*. Artificial Intelligence in Medicine: Elsevier, 2002.
- [4] I. Jeong, H. Kim, T. Kim, D. H. Lee, K. J. Kim, S. Kang, *A Feature Selection Approach Based on Simulated Annealing for Detecting Various Denial of Service Attacks*. River publishers, 2016.
- [5] I. Jolliffe, *Principal component analysis*. Springer Berlin Heidelberg, 2011.

- [6] S. Neelamegam, E. Ramaraj, *Classification algorithm in Data mining: An Overview*. International Journal of P2P Network trends and Technology, Volume 3 Issue 5, 2013



# Implementation of Sensory Systems for Needs of an Intelligent Space

<sup>1</sup>Ivan VOJTKO, <sup>2</sup>Ján VAŠČÁK

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

<sup>1</sup>ivan.vojtko@gmail.com, <sup>2</sup>jan.vascak@tuke.sk

**Abstract** – The main goal of this paper is to project and implement extensions for the already existing intelligent space at the home department using appropriate hardware and software. Hardware elements include various sensors and actuators and new software elements represent creating a private cloud. In the paper, a theoretical overview of used technologies is presented, which is followed by a new design and implementation description how the original intelligent space was extended. More concretely, four new devices were created that contain different sensors and actuators, which are able to fully collaborate with a private cloud, which was especially designed for this purpose.

**Keywords** – actuators, cloud, intelligent space, internet of things, sensors

## I. INTRODUCTION

The term Intelligent space (IS) is very obscure. It covers many hardware and software resources, which are used to digitize this space. Using this resources we are able to fast and easily gain access to information, which are undetectable by a person. Such a space is usually meant to provide an interaction with its users, but its creation and implementation is not trivial.

This paper covers a software and hardware extension for the already existing IS at the home department, whose structural and functional description can be found in [1], [2]. At the beginning, there was a need to solve needs of personal cloud computing environment. Nowadays there are many third party cloud providers but usually their solutions are not just cheap and users are tied to one technology so it is almost impossible to migrate between cloud providers. Also there is a risk of a cloud provider ending this business, which will cause many problems for us, as an end user.

In this work, those problems are solved by creating a custom, self hosted, cloud solution with easy-to-use web-based interface that is used to manage users resources. It was built on existing hardware, so there were no additional expenses. Also there was a need to extend existing IS with new hardware capabilities, like new sensors and actuators. Those needs were met by building custom IoT modules, which were built using Raspberry Pi's and sensory kits and their functionality was evaluated using self hosted cloud solution.

In next sections, we will describe some basic notions, which are necessary for understanding the presented problem, namely IS, Internet of Things (IoT) and cloud computing. After a brief overview about infrastructure requirements is provided followed by a proposal how to extend an already existing IS. The potential of such an extension will be then explained on a real application and some concluding remarks will finalise this paper.

## II. BASIC CONCEPTS IN CONSTRUCTING AN INTELLIGENT SPACE

The term *intelligent space* describes a place, where many sensors and intelligent devices (mostly IoT devices) are located and intercommunicating. We can consider IS as a room, hall, building or even a street equipped with sensors and actuators. Using sensors we are collecting data about what people in this space are doing, where people are in this space and using actuators we can interact with them. IS is a space, where people and computers can communicate with each other and where robots can collaborate with people. The main idea behind IS is the distribution of sensors and actuators in space to decrease computing performance needs for robots, to successfully exist and move in such a place [3].

IoT is a new term in the area of telecommunication, which defines that all of the objects of everyday life will be in future equipped with micro controller being capable of communication

over the internet using appropriate protocols. Also those things will communicate with users and will become an integral part of everyday life. The main goal of the IoT is to guarantee easy access and interaction with wide range of devices, such as home appliances, security cameras, vehicles, etc. [3].

Cloud computing is an on demand computing system. It mainly covers data storage and computing resources. This term is generally used to describe data centers, which are available to many users through the internet. Big clouds have often distributed their services across a wide range of places. If a cloud is relatively close to the user, it can be considered as an edge computing system.

Cloud can be used by a single organization (private cloud), publicly available (public cloud) or both of them (hybrid cloud). The biggest public cloud provider of nowadays is Amazon with its service Amazon Web Services (AWS). One of the biggest advantage of the cloud computing is its ability to scale resources based on demand and its elimination of hardware maintenance by users. Users are responsible only for their applications, their deployment into cloud service and for configuring necessary resources.

The evolution of IoT is heavily dependent on high computing power and high availability of resources, which is a main advantage of cloud computing services. This is the main reason, why cloud computing is a basic need for IoT. Cloud computing is providing services using three types of services [4]:

- Infrastructure as a Service
- Software as a Service
- Platform as a Service

*Infrastructure as a Service* provides computing resources (CPU, RAM...), data storage and network capabilities. It usually includes orchestrator like Open Stack or Apache Cloudstack. This orchestrator is used to manage and create virtual machines and decides, which physical machine is going to host it. Also it enables migration of virtual machines between hosts. The main alternative to virtualization is a containerization, which enables running containers using isolated partitions with single Linux kernel, which has a direct access to the hardware. The Linux kernel contains many technologies that are used to isolate and secure those containers. Containerization offers higher performance than virtualization with less overhead and is easily scalable being based on utilization [5]. *Software as a service* is a computer program, or a collection of computer programs, which is used as an host to the applications, which are provided on it. Basically, SaaS can be considered as a type of a specialized application server. Developers of software using software as a service can develop their applications for a single customers and then distribute their software using SaaS to multiple customers with almost zero effort. This platform covers management of all necessary hardware and software resources and uses those resources to provided applications for the customers on demand. This approach is used to reduce the time for the development of highly available corporate applications [6]. The platform as a service brings the productivity of developers to the fore, allowing it to create a layer of abstraction over IaaS for quick and easy deployment of services. PaaS is primarily focused on productivity of developers then the network management, data storage and computing performance. Thanks to that it is able to abstract implementation out of the application runtime. Developers are provided with environment and services that are used to run programming language and the infrastructure is left to lower layers as IaaS [7].

### III. GENERAL INFRASTRUCTURE REQUIREMENTS

There are many requirements needed for correct implementation of IS such as:

- Sensors/actuators
- Software
- Other hardware

Sensors are used to provide real time information about the environment. They can be used for example to detect amount of daylight, noise levels, temperature, humidity or they can be used in robots to detect obstacles and terrain. Basically sensors are divided into two main categories. Active and passive sensors.

Active sensors emit some kind of energy in terms of measuring. For example, ultrasonic sensors for detecting obstacles are emitting ultrasonic energy, which is reflected from a surface and caught back. Using known values of the sound speed we can calculate the distance of an object.

Passive sensors are just receiving some kind of energy and based on its intensity they can calculate some useful data.

For all sensors to be fully functional, they need some kind of software, which enables them to communicate with each other and store some parts of data. Cloud computing seems to be one of

the best solutions in this case. For building a custom cloud computing there is a need of some kind of virtualization/containerization and some interface for users to interact with it.

Also there is a need for some additional hardware. First of them there is a control module for sensors and actuators. Its role is to provide for them internet connectivity and it needs to be able to control them and collect their data. For data processing and cloud computing there is a need of some physical computer hardware known as a server. This server needs to host custom made cloud solutions and provide computing capabilities for the controllers, which are equipped with sensors. Some kind of preprocessing and filtering can be done directly on these controllers but the more difficult tasks the more powerful hardware is required.

#### IV. PROPOSED EXTENSION OF AN INTELLIGENT SPACE

The main purpose of this work was to extend existing IS. Currently, there are many intelligent devices already in use, such as cameras, 3D scanners or microphones. All of them are connected to the mini PC that is used as a controller for them and they are connected to the local network, see Fig. 1.

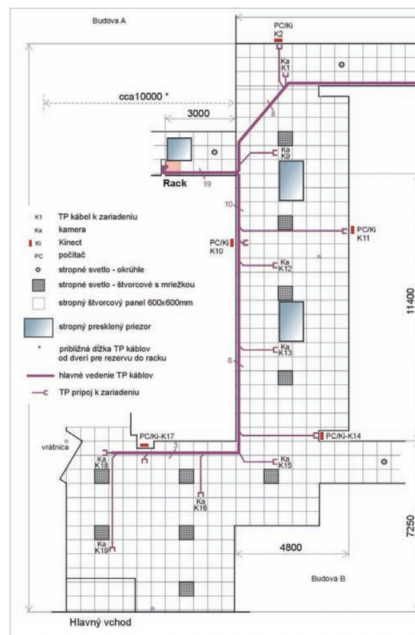


Fig. 1 Current state of IS and its interconnections.

First of all, it was necessary to implement new sensors and actuators. The main goal was to create 4 IoT kits with a variety of sensors.

In term of need to create IoT kits, there were used 4 different sets of sensors and actuators. As a controller Raspberry Pi was used with an installed Raspbian image. Those controllers are providing internet connection to these sensors and provide useful libraries that are needed to communicate with sensors and actuators.

The first of these kits there is the *security sensors kit*. It consists of sensors used mainly to provide security, like a magnetic door sensor, PIR sensor, gas leakage sensor and others, see Fig. 2.

Further sensors kit is the the *environment sensors kit*. Its main purpose is to provide information about environment like temperature, humidity, pressure, amount of sunlight, etc., Fig. 3.

The third one is the *localization and navigation sensors kit*. It is useful for localizing and navigating robots inside IS. It provides information about distance of nearest objects, orientation of robots or it can detect white line on the ground, Fig. 4.

The last used kit is the *basic sensors kit*. It is meant to provide basic sensors and actuators to the users for helping them to understand, how to work with more advanced sensors. It contains sensors like button or light sensors and also actuators like LED, buzzer or OLED display, Fig. 5.

To cooperate with IoT kits there was developed a custom cloud computing solution. The main technology helping this cloud to be working as needed is *Docker*. It is a containerization service that has easy to deploy solutions and provide users with many prebuilt images needed for running different types of applications, programming languages and environments. This Docker solution

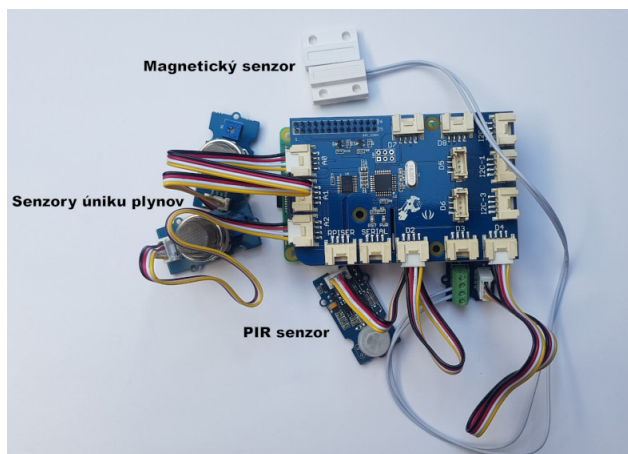


Fig. 2 Depiction of a security sensors kit.

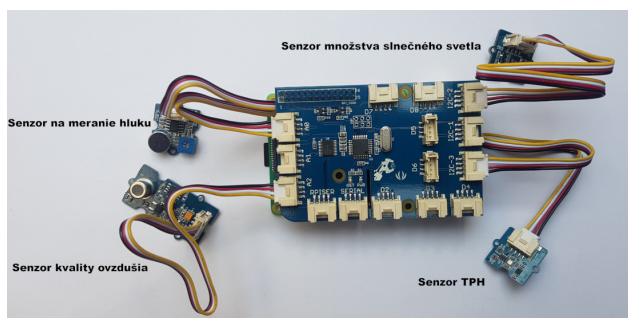


Fig. 3 Depiction of the environment sensors kit.

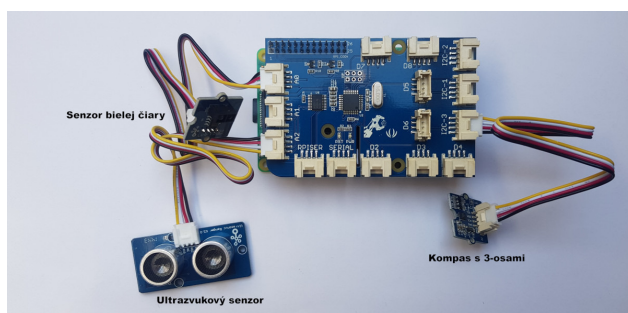


Fig. 4 Depiction of the localization and navigation sensors kit.

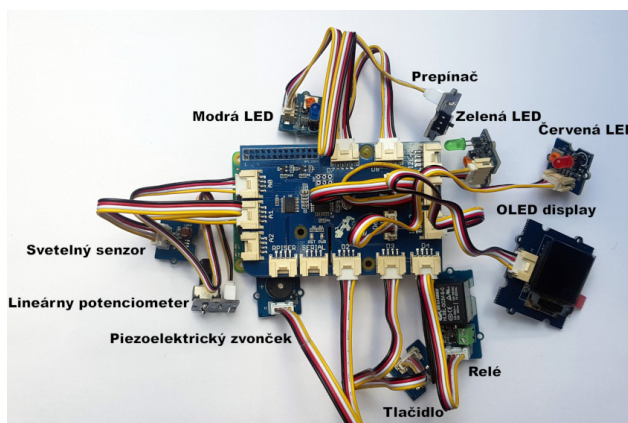


Fig. 5 Depiction of the basic sensors kit.

is controlled and managed by Flask web application, which is written in Python language and provides easy to use solution for the users. Users are able to easily create and manage their containers and deploy applications on them. It also provides users with in-browser terminal attached to those containers, Fig. 6.

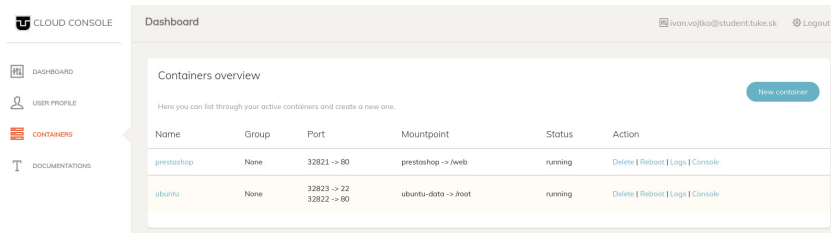


Fig. 6 Cloud interface with running containers.

This cloud solution has also API available for automation of deployment process and documentation, which has information about all of the hardware and software resources available in this IS.

### V. REAL LIFE APPLICATIONS — AN EXAMPLE

This enhanced IS is able to provide many resources for the experiments. For example the intelligent air conditioner. Using cloud, we can deploy two images. One with an MQTT broker running and one with a database, for example MongoDB. We can then use security IoT kit to monitor, if there is any presence of persons in this space and using environment kit, we can monitor direct sunlight, temperature, humidity and air quality and report these parts of information through the cloud into the database and basic sensor kit, that can decide based on the provided information if air conditioner needs to be turned on or off.

Also the localization and navigation sensors kit can be implemented into an existing robot and it can provide it with additional sensors. Data collected by the sensors could be sent into cloud, which can decide, what to do, how to plan the movement and path of a robot.

Simple experiments were done in this IS. The first one was to monitor the presence of persons inside this space. The security sensor kit and basic sensor kit were used. This experiment uses a magnetic door sensor to detect, if someone is entering or leaving room and a PIR sensor to eliminate errors, which could be caused by wind opening/closing the doors.

The security sensor kit was monitoring doors and the presence of a person sending this information through the MQTT deployed on the cloud to the basic sensor kit, which turned the LED on when there was door opened and turned the buzzer on when there was a person detected. All these parts of information were then sent to the database, see Fig. 7. This simple experimental example gave us some information about how this whole IS can cooperate and how much successful was its extension.

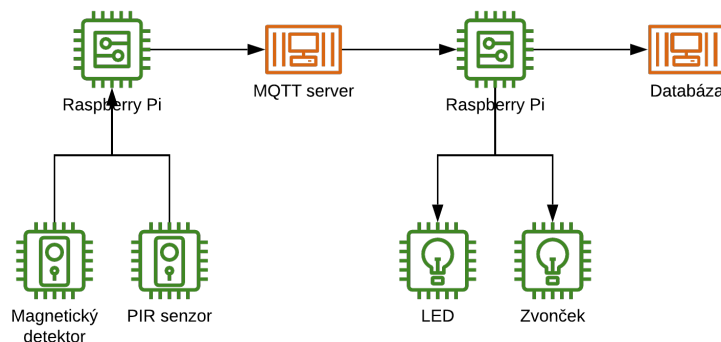


Fig. 7 An example of a security application scheme.

### VI. CONCLUSION

In this paper, we described basic ideas of IS and IoT and what was currently available in our IS at the university. We have successfully extended resources of this IS using new sensors, actuators,

controllers and custom cloud computing solution. These resources were also submitted to a few experiments, where it was proved, that the implementation of these solutions was successful and provided us with valuable extension. In the future, this space will be even more extended with more sensors and such sensors can use deployed cloud solutions for enhancing their functionality.

#### ACKNOWLEDGMENT

This publication was supported by the grant KEGA 1/033TUKE-4/2018 — AICyBS – Smart Industry/Architectures of Intelligent Information and Cybernetic Systems.

#### REFERENCES

- [1] D. Čurová, R. Haluška, T. Hügec, M. Puheim, J. Vaščák, and P. Sinčák, “Intelligent space at center for intelligent technologies — system proposal,” in *The 15th IEEE International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMII)*, Jan 2017, pp. 000 191–000 196.
- [2] J. Vaščák, E. Kajáti, and I. Zolotová, “Concept of intelligent space in education of IoT applications in robotics,” in *The 16th IEEE International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA)*, Nov 2018, pp. 629–634.
- [3] I. Vojtko, “Sensory Systems Based on RFID Technology in Intelligent Space (in Slovak),” Master’s thesis, Technical University of Košice, Slovakia, 2017.
- [4] J. Rui and S. Danpeng, “Architecture design of the internet of things based on cloud computing,” in *The IEEE Seventh International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, June 2015, pp. 206–209.
- [5] A. Amies, H. Sluiman, Q. Tong, and G. Liu, *Developing and Hosting Applications on the Cloud*, ser. IBM Press. Pearson Education, 2012.
- [6] G. Liu, “Research on independent SaaS platform,” in *The 2nd IEEE International Conference on Information Management and Engineering*, April 2010, pp. 110–113.
- [7] R. Dua, A. R. Raja, and D. Kakadia, “Virtualization vs containerization to support PaaS,” in *The IEEE International Conference on Cloud Engineering*, March 2014, pp. 610–614.

# Realizácia DWDM systému pre potlačenie FWM

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

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

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

**Abstrakt** — Táto práca je venovaná opisu plne optickej siete s hustým vlnovým delením DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) a javom ovplyvňujúcim prenos signálu cez optické vlákno. Štvorvlnové zmiešavanie FWM (Four Wave Mixing) je dominantný efekt ovplyvňujúci diaľkové prenosy cez viac kanálové optické komunikačné systémy. V tomto článku prezentujeme topológiu DWDM systému pre potlačenie FWM pri rôznych hodnotách optickej disperzie vlákna a taktiež pre rôzne hodnoty medzikanálových rozstupov.

**Kľúčové slová** — DWDM, FWM, optické vlákno, nelineárne javy

## I. ÚVOD

Je to už nejaký čas od doby prvých dátových prenosov. To odštartovalo významný rozvoj v oblasti komunikačných technológií, ktoré sú v súčasnosti na veľmi vysokej úrovni. Napriek pokroku v komunikácii pretrvávajú problémy nedostatočnej šírky pásma. To bolo čiastočne vyriešené optickými vláknami, ktoré postupne nahradili staré kovové vedenia v celej chrbticovej sieti [1-3].

Pre optické siete existujú tri hlavné obmedzenia: strata, rozptyl a nelineárne účinky. Optická disperzia je jav, ktorý spôsobuje, že rôzne zložky svetla alebo signálu sa pohybujú rôznymi rýchlosťami pozdĺž vlákna. Rozložením šírky svetelného impulzu obmedzuje rýchlosť prenosu dát. Nelineárne efekty sú hlavným degradačným mechanizmom vo vysokokapacitných DWDM systémoch. Rozlišujeme dve kategórie nelineárnych efektov. Prvý druh nelineárnych javov vzniká v dôsledku interakcie svetelných vln s molekulárnymi vibráciami v jadre kremičitého vlákna, konkrétne stimulovaného Ramanovho rozptylu a stimulovaného rozptylu Brillouinu. Druhý množina nelineárnych javov vzniká v dôsledku závislosti indexu lomu na intenzite svetla prenášaného optického signálu. Tieto efekty sú vlastná fázová modulácia SPM (Self Phase Modulation), krížová fázová modulácia XPM (Cross Phase Modulation) a štvorvlnové miešanie FWM. FWM je hlavným nelineárnym efektom a spôsobuje hlavné rušivé efekty, ktoré sa objavujú vo viackanálových vysokorýchlostných DWDM systémoch. Nelineárne účinky vznikajú v dôsledku fyzikálnych vlastností optického vlákna, ktoré nie je možné zmeniť, aby sa zabezpečila vysoká rýchlosť spoľahlivého prenosu. Je dôležité zmierniť FWM a ďalšie účinky, aby sa zabezpečil funkčný optický komunikačný systém na dlhé vzdialenosti [2-5].

## II. ŠTVORVLNOVÉ ZMIEŠAVANIE

FWM môže byť často porovnávané s intermodulačným skreslením v štandardných elektrických systémoch. Ak je do vlákna vyžiarený optický signál s veľmi veľkým výkonom, optická odozva stráca lineárny charakter. Jeden takýto nelineárny účinok je Kerrov efekt, ktorý podmieňuje jav FWM. Všeobecne povedané, ku javu FWM dochádza, keď sa tri vlnové dĺžky spoja do nelineárneho média, vedie to k vytvoreniu štvrtej vlnovej dĺžky, ktorá je tvorená rozptylom z troch dopadajúcich fotónov a nie je zhodná so žiadnou z daných vlnových dĺžok. Výsledkom je vytvorený štvrtý fotón. Tento fenomén je známy ako štvorvlnové zmiešavanie a je charakteristický hlavne pre DWDM systémy. K FWM dochádza v dôsledku šírenia minimálne troch signálov s frekvenciou  $f_i$ ,  $f_j$  a  $f_k$  [6-8]. V dôsledku FWM sa generuje nová frekvenčná zložka  $f_{i,j,k}$ .



$$f_{i,j,k} = f_i + f_j - f_k . \quad (1)$$

Použitím poznatkov o zákone zachovaní hybnosti dostaneme nasledujúci vzťah:

$$\beta_{i,j,k} = \beta_i + \beta_j - \beta_k , \quad (2)$$

vtedy hovoríme o fázovom pôsobení fotónov.

Niekedy sa môže stať, že toto fázové prispôsobenie sa nevykoná. Vtedy môžeme skonštatovať existenciu fázového neprispôsobenia  $\Delta\beta$ .

$$\Delta\beta = \beta_{i,j,k} - (\beta_i + \beta_j - \beta_k) . \quad (3)$$

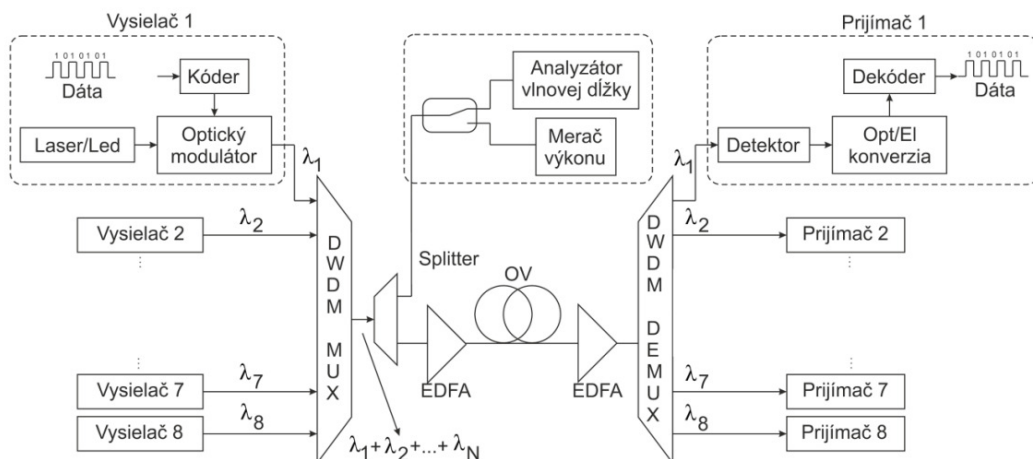
Nasledujúcim vzťahom vieme vyjadriť výkon generovaného svetla pre optické vlákno, ktorého dĺžka je  $L$ :

$$P_{i,j,k}(L) = K \left[ \frac{P_i P_j P_k}{A_e^2} \right] \left[ \left| \exp \frac{(j\Delta\beta - \alpha)L - 1}{j\Delta\beta - \alpha} \right|^2 \right] \exp(-\alpha L) , \quad (4)$$

kde  $K$  je konštanta,  $P_i, P_j, P_k$  sú výkony pre svetelné vlny  $f_i, f_j, f_k$ . Efektívna plocha má označenie  $A_e$  a  $\alpha$  označuje straty vlákna. Z posledného vzťahu je známe, že jav FWM je závislý od nasledujúcich hodnôt: dĺžka vlákna  $L$ , hodnota tlmenia vlákna  $\alpha$ , priemer základného vidu, výkon a od  $\Delta\beta$ . FWM vo WDM systémoch vedie k medzikanálovým presluchom. To vytvára dostatočne veľký šum a degraduje výkonnosť celého systému. Na druhej strane, FWM má aj svoje výhody. Výhody FWM vieme využiť v niekoľkých smeroch. Medzi nich patrí parametrické zosilnenie, optická fázová konjugácia, demultiplexovanie OTDM kanálov, vlnová dĺžka konverzie WDM kanálov alebo pri generácii supercontinua [9].

### III. SIMULAČNÝ MODEL PRE FWM

Na ovplyvňovanie javu FWM sme realizovali simulačný model viackanálového DWDM systému podľa Obr. 1. DWDM, ktorý sme vytvorili, mal rôzne rozstupy medzi jednotlivými kanálmi, a to od 193,025 THz do 193,1125 THz (Tab. 1), pričom sme menili disperziu v OV. Systém sme zhusťovali až na požadovaných 12,5 GHz so zámerom preukázať nelineárny vplyv FWM. Druhá simulácia bola urobená na požadovanom osemkanálovom systéme pri zmene vysielacieho výkonu od 0 dBm do 10 dBm. Rozdiel oproti prvej topológii je v tom, že sme nevytvorili optickú slučku. V tejto topológii zapojenia sme použili AWG mux/demux za vysielacou jednotkou a pred prijímacou jednotkou. Za AWG multiplexor sme umiestnili predzosilňovač (výkon 4 mW), ktorý zosilňoval výstupný signál z multiplexoru. OV za zosilňovačom malo dĺžku 90 km s útlmom 0,33 dB.km<sup>-1</sup>. Za OV sme umiestnili komponent na kompenzáciu disperzie. Na Obr. 2 je znázornený vplyv disperzie na výkon FWM pre 2, 4 a 8-kanálový systém.

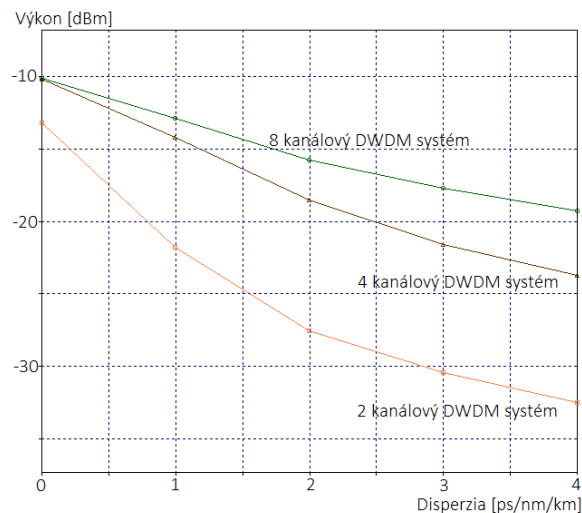


Obr. 1 Optická linka na vyhodnotenie javu FWM

Tab. 1 Rozstupy medzi kanálmi v DWDM na pozorovanie javu FWM

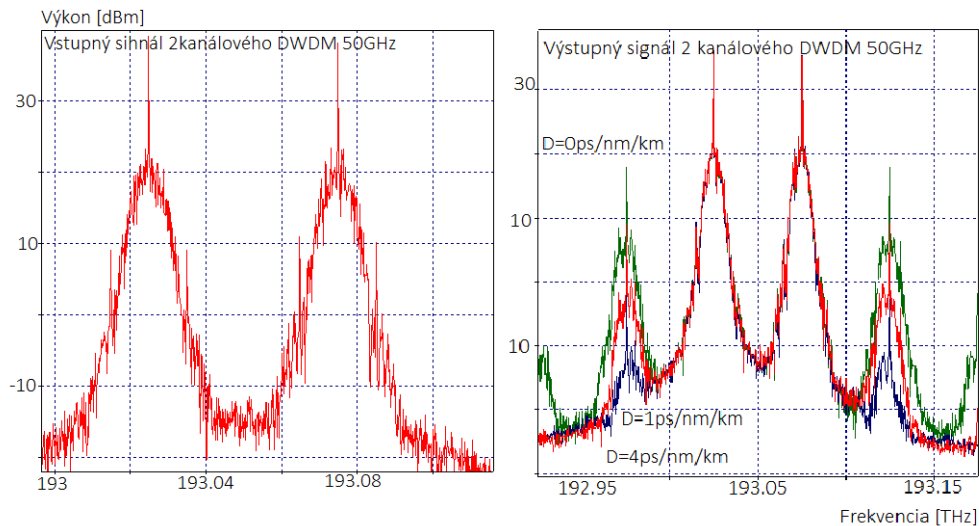
| 2 kanály (50 GHz) | 4 kanály (25 GHz) | 8 kanálov (12,5 GHz) |
|-------------------|-------------------|----------------------|
| 193.025           | 193.025           | 193.025              |
| -                 | -                 | 193.0375             |
| -                 | 193.05            | 193.05               |
| -                 | -                 | 193.0625             |
| 193.075           | 193.075           | 193.075              |
| -                 | -                 | 193.0875             |
| -                 | 193.1             | 193.1                |
| -                 | -                 | 193.1125             |

Disperziu sme menili s inkrementom 1 ps/nm/km od 0 do 4. Za kompenzátor sme umiestnili IN-Line, aby zosilnil signál na požadovanú úroveň. OV umiestnené za zosilňovačom malo dĺžku 100 km a hodnotu útlmu 0,33dB.km<sup>-1</sup>, pričom ani v jednom prípade sme nebrali do úvahy SBS a PMD. Pred demultiplexor sme umiestnili zosilňovač, aby zosilnil úroveň signálu na takú hodnotu, aby bolo možné rozlíšiť jednotlivé impulzy na výstupe. V našom prípade sme nehodnotili vplyv pomocou BER, ale pomocou výstupných spektrier na výstupe. Cieľom vytvorenia topológií bolo poukázať na možnú elimináciu FWM pomocou posunutia disperzie a na to, aký vplyv má zhusťovanie kanálov na daný systém. Bol vytvorený dvojkanálový systém s rozstupom 50 GHz, štvorkanálový systém s rozstupom 25 GHz a osemkanálový systém s rozstupom 12,5 GHz v rovnakom spektre. Na výstupných spektrách môžeme pozorovať vplyv disperzie na FWM.

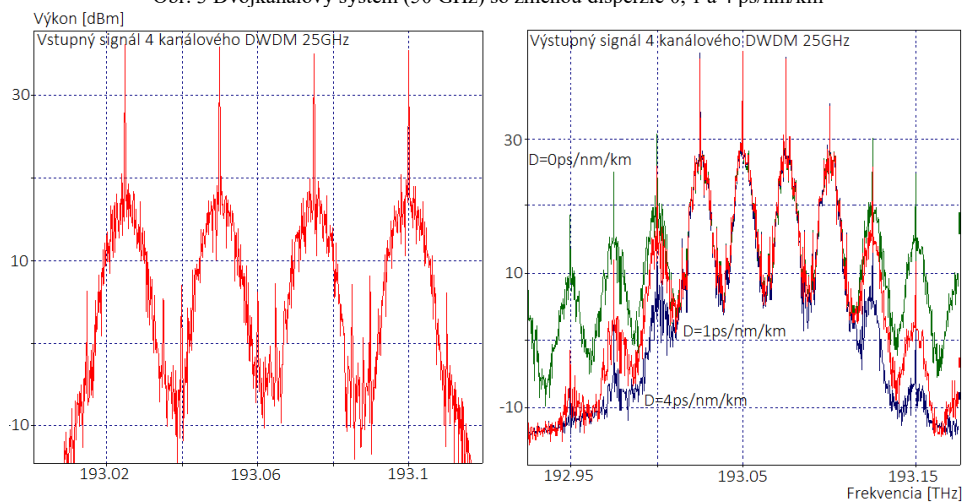


Obr. 2 Vplyv disperzie OV na výkonové úrovne FWM

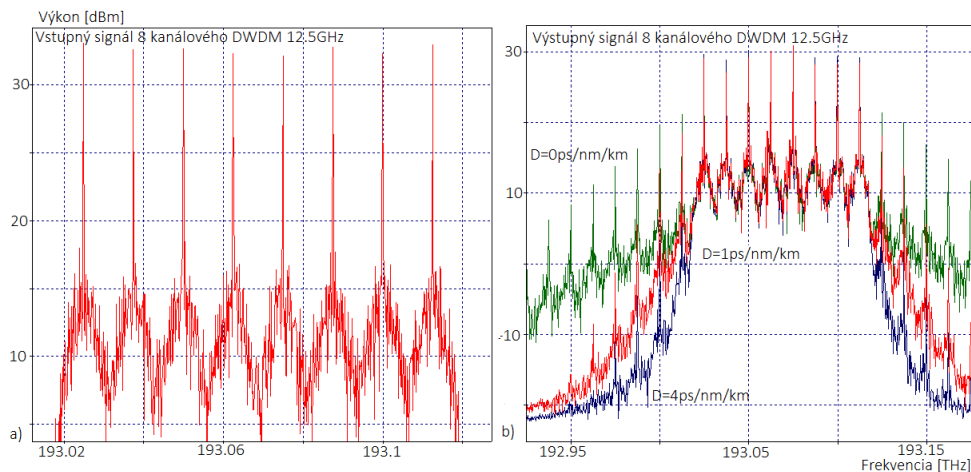
Na Obr. 3, Obr. 4 a Obr. 5 sú znázornené dve spektrá. Prvé spektrum vľavo zobrazuje vstupné DWDM signály, ktoré sú simulované hneď za multiplexorom. Druhé spektrum vpravo zobrazuje výstupné signály pri rôznej disperzii v OV ( $D = 0, 1$  a  $4$  ps/nm/km). Zelená krivka v spektre zobrazuje hodnotu disperzie 0 ps/nm/km, červená krivka zobrazuje použitú hodnotu disperzie 1 ps/nm/km a modrá krivka predstavuje hodnotu disperzie 4 ps/nm/km. Na základe daných simulácií môžeme usúdiť, že s nárastom disperzie v OV sa jav FWM zmenšuje. Pri nulovej disperzii je FWM maximálne, a to pre fázový nesúlad. Pri eliminácii javu môžeme zvyšovať disperziu, čím narastie fázový nesúlad a FWM sa zníži.



Obr. 3 Dvojkanálový systém (50 GHz) so zmenou disperzie 0, 1 a 4 ps/nm/km

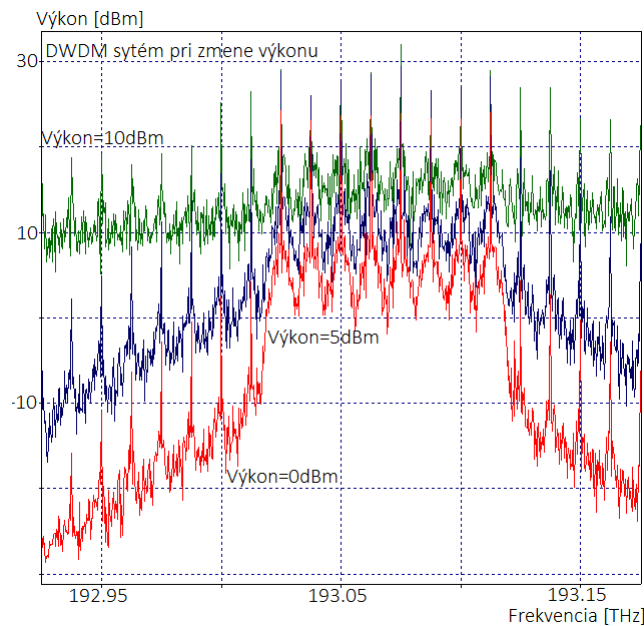


Obr. 4 Štvorkanálový systém (25 GHz) so zmenou disperzie 0, 1 a 4 ps/nm/km



Obr. 5 Osemkanálový systém (12,5 GHz) so zmenou disperzie 0, 1 a 4 ps/nm/km

Druhá simulácia bola použitá so zámerom eliminácie FWM pri zmene optického výkonu. Bol vytvorený osemkanálový systém, pri ktorom dochádzalo k zmene optického výkonu. Optický výkon sa menil od hodnoty 0 dBm do hodnoty 10 dBm s inkrementom 5. Realizovaná topológia poukazuje na zmenu spektra pri rôznych vstupných výkonoch a ako úzko je spätý jav FWM s výkonom vo vlákne. Pri výkone 0 dBm (predstavuje 1 mW) sa jav FWM prejavil v malej miere, čo je spôsobené rozstupom kanálov (červená farba). Pri vysielačom výkone 5 dBm sa FWM prejavil v značnej miere, pričom dochádzalo k degradácii signálu na výstupe (modrá farba). Pri výkone 10 dBm dochádza k úplnému znehodnoteniu signálu a na výstupe nie je možné rozlíšiť jednotlivé frekvenčné zložky. Na Obr. 7 máme zobrazené výsledné spektrá pri výkonoch 0 dBm, 5 dBm a 10 dBm.



Obr. 7 Výstupné osemkanálové spektrum DWDM pri výkonoch 0 dBm, 5 dBm a 10 dBm

#### IV. ZÁVER

FWM spôsobuje v DWDM systémoch presluchy v susedných kanáloch. Tie sú tým intenzívnejšie, čím sú výkonové úrovne vyššie, čím je počet kanálov väčší a čím je rozstup medzi kanálmi menší. Možná eliminácia FWM môže byť realizovaná nerovnomerným rozdelením kanálov, čím v podstate novovznikajúce zložky sa budú vytvárať mimo frekvencie kanálov. Pri FWM platí podmienka fázového zladenia. Čím bude fázový nesúlad väčší, tým bude FWM účinnosť menšia. S rastúcou disperziou rastie fázový nesúlad, a preto pri nenulovej disperzii je náročné splniť danú podmienku. FWM môžeme taktiež potlačiť použitím vlákien typu SSMF oproti NZ-DSF, alebo vhodným plánovaním disperznej mapy. Na výsledných spektrách pri topológii FWM môžeme pozorovať, aký vplyv má nahusťovanie kanálov na daný systém pri zmene disperzie.

#### POĎAKOVANIE

Práca na tomto príspevku bola podporená prostriedkami z nasledujúcich výskumných grantov: KEGA 023TUKE-4/2017, VEGA 1/0772/17 a APVV-17-0208.

#### LITERATÚRA

- [1] L. G. Kazovsky, W. T. Shaw, D. Gutierrez, N. Cheng, S. W. Wong, „Next-Generation Optical Access Networks”, *Journal of Lightwave Technology*, vol. 25, no. 11, 2017. DOI: 10.1109/JLT.2007.907748.
- [2] R. Ramaswami, K. N. Sivarajan, G. H. Sasaki. “Optical Networks,” 2010. 928p. ISBN 978-0-12-374092-2.
- [3] J. M. Simmons, “Optical Network Design and Planning,” 2014, 529 p. ISSN: 1935-3847, DOI: 10.1007/978-3-319-05227-4.
- [4] S. P. Singh and N. Singh, “Nonlinear Effects in Optical Fibers: Origin, Management and Applications,” *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 73, 249-275, 2007. DOI:10.2528/PIER07040201.
- [5] H. Nain, U. Jadon, V. Mishra, “Performance investigation of Kerr effects on to WDM fiber optical networks,” *IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information and Communication Technology*, 2016, pp. 2018-2022, DOI: 10.1109/RTEICT.2016.7808193.
- [6] A. Kaur, S. Dewra. “Comparative Analysis of Different Modulation Techniques in Coherent Optical Communication System,” *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, vol. 3, issue 8, p. 7193 – 7200, August 2015. ISSN: 2320-9801.
- [7] K. Thyagarajan, A. Ghatak, “*Fiber Optics Essentials*”, ISBN 978-0-470-09742-7, 2007, John Wiley & Sons, Inc. Hoboken New Jersey, 239 pp.
- [8] T. Huszanik, L. Ovseník, and J. Turán, “Performance Analysis of Optical Modulation Formats for 10 Gbit / s DWDM System,” *Carpathian J. Electron. Comput. Eng.*, vol. 2, no. 10, pp. 3–8, 2017.
- [9] M. Filka, “*Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*”, Brno, 2009, 1st edition, ISBN 978-80-86785-14-1, 369 pp.

# Modelovanie a prototypovanie dátovej vrstvy softvérových systémov použitím metodológie OPM

<sup>1</sup>Jozef PERHÁČ, <sup>2</sup>Zdeněk HAVLICE

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

<sup>1</sup>jozef.perhac@student.tuke.sk, <sup>2</sup>zdenek.havlice@tuke.sk

**Abstract** —Príspevok sa zaoberá modelovaním a prototypovaním dátovej vrstvy softvérových systémov použitím metodológie OPM. V článku sú analyzované možnosti metodológie OPM a CASE systému OPCloud pre modelovanie dátovej vrstvy systémov, je popísaný navrhnutý a implementovaný softvérový nástroj pre generovanie SQL skriptov použitím formalizovaných OPM modelov v jazyku OPL. Je popísaná navrhnutá metodika pre vytvorenie štruktúry databázy vyvíjaného softvéru použitím implementovaného generátora. Pre overenie funkcionality generátora bola experimentálne vytvorená webová aplikácia, ktorej databáza je vytvorená pomocou vygenerovaných SQL skriptov.

**Kľúčové slová** — modelovanie, metodológia OPM, CASE systém, SQL skripty, dátová vrstva, databáza

## I. Úvod

S vývojom softvérových systémov, obzvlášť rozsiahlych/zložitých informačných a riadiacich systémov veľmi úzko súvisí problematika modelovania a prototypovania. Vytvorenie vhodných modelov a prototypov systému v skorých fázach riešenia projektu pred kompletnou implementáciou systému môže zefektívniť vývoj a zlepšiť kvalitu cieľového systému. Systémové modelovanie je proces vývoja abstraktných modelov systému, pričom každý model predstavuje iný pohľad alebo perspektívu tohto systému [1]. Modely a prototypy systému pomáhajú analytikom, programátorom a všetkým kľúčovým osobám, ktoré majú nejaký dôležitých vzťah k cieľovému systému (vývoj, údržba, používanie, využívanie) pochopiť, ako by mal resp. ako bude modelovaný systém fungovať, aké by mal mať vlastnosti a tým verifikovať a validovať na úrovni modelu jeho správnosť.

Medzi základné modely patrí model dátovej vrstvy. V každom systéme sa nachádzajú rôzne údaje, s ktorými systém pracuje. Pre mnohé softvérové systémy, obzvlášť pre tie, u ktorých je predpoklad manipulácie a spracovania zložitých a/alebo rozsiahlych dát, je veľmi dôležité modelovať dátovú vrstvu z pohľadu štruktúry, obsahu a jej používania. Pre efektívnosť modelovania je dôležitá jednoduchosť zostavenia modelov, udržania ich konzistencie so systémom a viacnásobná využiteľnosť modelov pre rôzne účely počas životného cyklu systémov.

Tento príspevok sa zaoberá práve dátovým modelovaním a možnosťami, ktorými je možné takýto model vytvoriť použitím metodológie OPM (Object-Process Methodology) [6]. Metodológia OPM je charakteristická jednoduchosťou (jediný diagram a málo modelovacích artefaktov), podporou pre verifikáciu a validáciu modelov, možnosťou využitia modelov pre generovanie artefaktov cieľového systému. V časti II sú analyzované základné princípy metodológie OPM a elementov, ktoré táto metodológia poskytuje pre zostavovanie modelov a možnosti OPM pre modelovanie dátovej vrstvy.

Časť III popisuje vytváranie dátovej vrstvy softvérových systémov na základe modelu vytvoreného pomocou metodológie OPM. V tejto časti je predstavený návrh metódy modelovania dátovej vrstvy pomocou CASE systému OPCloud, ktorý má implementovanú OPM. Ďalej je popísaný nástroj *SQLGen* vytvorený pre generovanie SQL skriptov pre vytvorenie databázy softvéru na základe špecifikácie v jazyku OPL (Object Process Language) vygenerovaného z daného OPM modelu. V závere sú na základe experimentálneho príkladu zhodnotené možnosti použitia metodológie OPM a nástroja *SQLGen* pre modelovanie a prototypovanie dátovej vrstvy softvérových systémov.

## II. Analýza možností OPM pre modelovanie dátovej vrstvy

### A. OPM metodológia

Object-Process Methodology (OPM) je koncepčný prístup, jazyk a metodika modelovania systémov. OPM je vhodná pre modelovanie nielen jednoduchých a malých systémov, ale rovnako aj pre zložité, rozsiahle a komplexné systémy [2]. Táto metodológia definuje jazykové aj metodické aspekty s cieľom vytvoriť spoločný základ pre systémových architektov, návrhárov a vývojárov rôznych druhov systémov.

Pre praktické uplatnenie a využívanie princípov metodológie OPM sú dnes dostupné CASE nástroje pre modelovanie touto metodológiou, desktopový nástroj OPCAT [3] a novší cloudovský systém OPCLoud [4].

### B. Základný koncept a princípy metodológie OPM

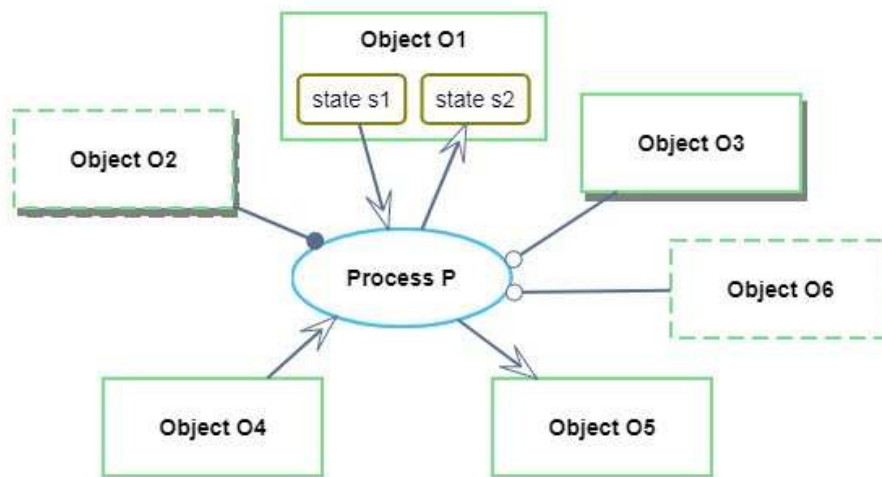
Pri zostavovaní modelov prostredníctvom tejto metodológie sa používajú dva základné modelovacie prvky [5]:

- entity, medzi ktorými patria *objekty*, *stavy* a *procesy*,
- prepojenia (links) medzi entitami.

*Objekty* predstavujú modelové elementy, ktoré reprezentujú existujúce veci z modelovaného systému a jeho okolia. Podstata ich existencie môže byť fyzická alebo infromatická. A podľa pričlenenia k systému môžu byť objekty systémové (patria do systému) a environmentálne (tvoria okolie systému) [3]. Objekty môžu predstavovať jednoduché veci a predmety z reálneho života alebo aj zložité systémy. Údajovými objektmi pri modelovaní štruktúry dátovej vrstvy môžu byť logické dátové entity a ich atribúty ako aj fyzická implementácia entít napr. pomocou relačných databázových tabuliek. Elementárnymi logickými údajovými objektmi sú atribúty dátových entít a zloženými údajovými objektmi sú zložené kľúčové atribúty, dátové entity a relačné tabuľky.

*Stavy* predstavujú možné situácie v danom modelovanom systéme, v ktorých sa môžu jednotlivé objekty nachádzať [5][3]. Ide o konkrétnu klasifikáciu situácie objektu v určitom bode jeho životnosti. V každom okamihu sa objekt nachádza v jednom zo svojich stavov alebo v prechode medzi dvomi stavmi - od jeho vstupného stavu po výstupný stav. Stavy údajových objektov sú charakterizované hodnotami. Stavy údajových objektov je možné použiť na modelovanie životného cyklu dátových entít.

*Procesy* predstavujú deje, ktoré transformujú objekty [5]. Procesy musia byť spojené s aspoň jedným objektom, čo znamená, že neexistujú izolovane a samostatne. Na Obr. 1 je grafická reprezentácia všetkých 3 typov objektov OPM a vybraných 4 z možných 12 vzťahov. Príklad je modelom systému, v ktorom proces P spotrebuje ako vstup infromatický objekt O4 (napr. vstupný údaj zadaný cez používateľské rozhranie systému - GUI), vygeneruje ako výstup infromatický objekt O5 (napr. výstup na GUI) a zmení stav infromatického objektu O1 zo stavu s1 na stav s2 (napr. zápisom údajov o objekte do databázovej tabuľky). Pre vykonanie procesu je potrebný externý fyzický agent O2 (napr. používateľ), fyzický objekt O3 (napr. bezpečnostná čipová karta) a externý infromatický objekt O6 (napr. databáza údajov nejakého externého subjektu). Procesy manipulujúce s údajovými objektmi môžu modelovať elementárne databázové operácie, ako aj zložité procesy spracovania dát. Procesy aj objekty môžu byť zložené a dekomponované, čo umožňuje hierarchický návrh.



Obr. 1: Grafická reprezentácia entít OPM v diagrame OPD

### C. Objektovo - procesný diagram

Objektovo - procesný diagram (OPD, Object - Process Diagram) predstavuje grafickú reprezentáciu modelu alebo časti modelu metodológie OPM, v ktorom sa objekty a procesy objavujú spolu so svojimi väzbami [2]. Ide o jediný druh diagramu metodológie OPM, čo prispieva k jednoduchosti OPM.

OPD znázorňuje jednotlivé objekty, procesy a prepojenia medzi objektmi alebo procesmi a medzi nimi navzájom. Tieto prepojenia sa na základe tohto rozdeľujú na štrukturálne väzby (structural links) a procedurálne väzby (procedural links) [6]. V OPD diagrame štrukturálne prepojenia spájajú objekty s objektmi alebo procesy s procesmi a procedurálne prepojenia spájajú objekty s procesmi. Pre vizualizáciu dynamických vlastností modelu (toky dát, sekvenčnosť a paralelnosť procesov, aktivácia procesov udalosťami) poskytuje CASE systém OPCloud možnosť vykonávania modelu [6]. Takáto simulácia správania systému môže byť použitá pre validovanie systému na úrovni modelu - včasnú detekciu chýb v návrhu, ktoré by s veľkou pravdepodobnosťou smerovali k problémom s validáciou finálneho riešenia.

### D. Objektovo - procesný jazyk

Druhý spôsob reprezentácie modelu v OPM predstavuje textová špecifikácia modelu v objektovo - procesnom jazyku (OPL, Object - Process Language). Špecifikácia je automaticky generovaná CASE nástrojom, ak existujú minimálne dve entity a aspoň jedno prepojenie medzi nimi. OPL špecifikácia využíva podmnožinu anglického jazyka a pomenovania z príslušného diagramu OPD. Výhodou špecifikácie modelu v jazyku OPL je to, že špecifikácia môže byť dobre čitateľná [6] a súčasne porovnateľná s pôvodnými textovo reprezentovanými používateľskými požiadavkami pre účely včasnej verifikácie návrhu.

## III. Riešenie a výsledky

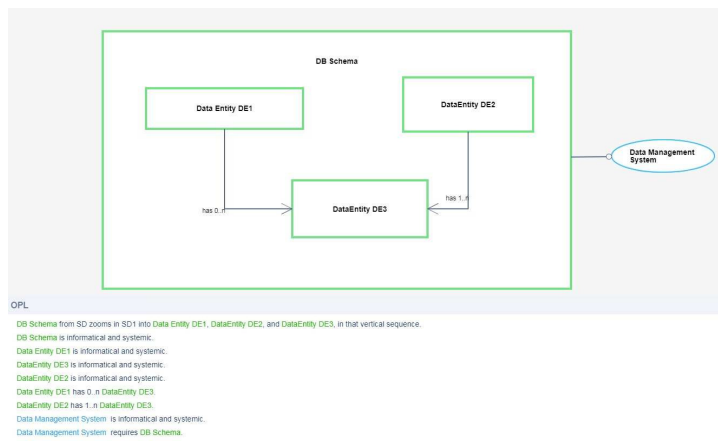
### A. Metodika modelovania dátovej vrstvy v CASE systéme OPCloud

Pre modelovanie štruktúry dátovej vrstvy metodológiou OPM v CASE systéme OPCloud [4][5] je možné využiť hierarchické modelovanie v 3 úrovniach. Na najvyššej úrovni sa budú nachádzať iba objekty reprezentujúce v logickom modeli dátové entity a vo fyzickom modeli príslušné implementačné dátové objekty a vzťahy medzi nimi. Pre popisované riešenie bola využitá implementácia dátových entít pomocou tabuliek relačnej databázy. Druhá úroveň bude popisovať dátovú entitu resp. zodpovedajúcu tabuľku spolu s jej atribútmi - stĺpcami. Posledná, tretia úroveň bude znázorňovať konkrétny atribút - stĺpec tabuľky s jeho dátovým typom.

V prvom kroku je potrebné zostaviť prvú úroveň hierarchie v logickom modeli štruktúry



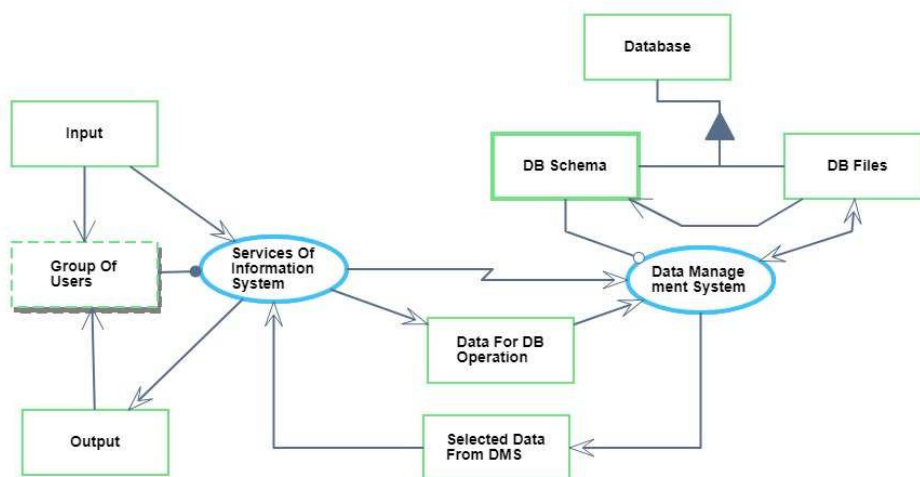
bázy dát s modelovaním dátových entít a relácií medzi nimi. V implementačnom fyzickom modeli môžu byť dátové entity transformované na relačné tabuľky a relácie medzi entitami nahradené exportom cudzích kľúčov. Ďalším krokom je zostavenie modelov štruktúry dátových entít. Vo fyzickom modeli bude táto úroveň obsahovať konkrétny objekt tabuľky z prvej úrovne dekompozície modelu s jej príslušnými stĺpcami. Tento objekt tabuľky bude obsahovať v sebe objekty predstavujúce jeho atribúty - stĺpce relačnej tabuľky. Jednoduché príklady výsledných diagramov pre tieto 2 kroky sú na Obr. 2. Posledným krokom je vytvorenie tretej úrovne dekompozície - bude modelovať priradenie logických (v logickom modeli) resp. fyzických typov (vo fyzickom modeli) jednotlivým atribútom entít (resp. stĺpcom tabuliek).



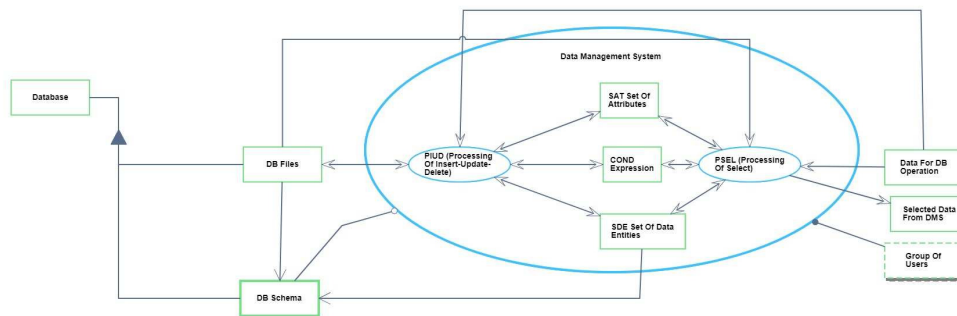
Obr. 2: Prvé 2 úrovne modelovania štruktúry bázy dát pomocou metodológie OPM

Po vytvorení štruktúrného modelu dátovej vrstvy systému je možné v nástroji OPCloud vytvoriť export tohto modelu v podobe špecifikácie v jazyku OPL a použiť pre verifikáciu voči pôvodným požiadavkám. OPCloud vytvorí HTML súbor s danou špecifikáciou štruktúry dátovej vrstvy, ktorý je možné uložiť lokálne do počítača a použiť pre generovanie skriptov na vytvorenie bázy dát [11].

Pre vytvorenie behaviorálneho modelu dátovej vrstvy systému je možné použiť procesy OPM. Na Obr. 3 proces s menom Data Management System predstavuje procesnú časť príslušného pod systému s riadením bázy dát. Jeho služby sú vyvolávané z pod systému služieb informačného systému - v modeli na obrázku je reprezentovaný procesom s menom Services Of Information System. Na Obr. 4 je diagram dekompozície procesu - pod systému pre riadenie bázy dát.



Obr. 3: Generický konceptuálny model informačného systému v metodológii OPM



Obr. 4: Behaviorálny model podsystemu pre riadenie bázy dát v metodológii OPM

Vykonávaním - animáciou uvedených modelov je možné validovať správanie a hľadať chyby v návrhu. Pri animácii sa po hranách diagramu v smere toku dát (transforming links), v smere aktivácie procesov (invokation links) a v smere umožnenia vykonávania procesov pomocou objektov a inštrumentov (enabling links) pohybuje kruhová značka, ktorá vizualizuje uvedené aspekty správania.

### B. Softvérový nástroj *SQLGen* pre generovanie SQL skriptov

Nástroj pre generovanie SQL skriptov [11] na základe špecifikácie v jazyku OPL vygenerovanej z OPM modelu OPM, je vytvorený pomocou technológie JavaFX. JavaFX predstavuje grafickú softvérovú platformu, ktorá je určená pre vytváranie webových aplikácií, ale aj mobilných a počítačových aplikácií, ktoré môžu bežať v širokej škále zariadení [7].

Pre jednoduché grafické rozhranie nástroja *SQLGen* bol využitý nástroj *JavaFX Scene Builder*, ktorý umožňuje rýchlo navrhnuť používateľské rozhranie aplikácií JavaFX.

OPL špecifikácia vygenerovaná CASE systémom OPcloud má podobu textu, ktorý je uložený v HTML súbore. Tento súbor je vstupným súborom pre nástroj *SQLGen* [11]. Pre spracovanie tohto súboru bola v *SQLGen* použitá voľne technológia *Jsoup HTML parser*.

Pomocou *Jsoup* sa načíta stránka HTML na základe zadanej URL adresy internetovej stránky alebo ľubovoľného HTML súboru a vytvorí v pamäti programu zodpovedajúcu štruktúru reprezentujúcu danú stránku alebo súbor [9]. Následne je možné pracovať s danou štruktúrou pomocou metód, ktoré knižnica *Jsoup* poskytuje. Pre softvér *SQLGen* je potrebné konvertovanie konkrétneho HTML súboru, a preto je v kóde programu použitá práve funkcia *parse(File in, String charsetName)*. Následne je použitá funkcia *text()* vykonaná nad premennou programu vytvorenou konvertovaním HTML súboru, ktorá slúži na získanie textu z daného súboru v podobe reťazca znakov. Po získaní textu bolo možné pracovať s daným textom a generovať SQL skripty.

Pri implementácii softvéru *SQLGen* a pre generovanie SQL skriptov bola zvolená databáza PostgreSQL. PostgreSQL je voľne dostupný objektovo-relačný databázový systém, ktorý využíva a rozširuje jazyk SQL, kombinuje ho s mnohými funkciami a slúži pre ukladanie údajov a následné manipulovanie a prácu s týmito údajmi. PostgreSQL pomáha predovšetkým programátorom a vývojárom softvéru pracovať s údajmi a zabezpečiť ich integritu [10].

PostgreSQL umožňuje vytvoriť relačnú databázu zloženú z tabuliek predstavujúcich dátové entity. Tabuľky sú navzájom prepojené a existujú medzi nimi vzťahy, väzby. Každá tabuľka sa skladá z viacerých polí reprezentujúcich stĺpce a záznamov predstavujúcich riadky tabuľky. Každý stĺpec má definovaný svoj databázový typ, čo určuje, aký typ údajov môže byť vložený do tohto stĺpca. Každá tabuľka obsahuje primárny kľúč. Primárny kľúč predstavuje jedinečný atribút, ktorý jednoznačne identifikuje záznam v tabuľke.

Nástroj *SQLGen* je určený na modelovanie dátovej vrstvy a vytvorenie databázy pre vývoj nového softvéru. Pre implementáciu softvéru *SQLGen* sú dôležité SQL skripty pre vytváranie nových tabuliek v databáze. Keďže primárny kľúč musí obsahovať v každom zázname jedinečnú hodnotu, softvér *SQLGen* generuje v SQL skripte vlastnú sekvenciu príkazov pre vytvorenie každej tabuľky. Sekvencia predstavuje generovanie nového čísla, tzn. pri každom uložení nového záznamu do tabuľky sa vygeneruje číslo väčšie o hodnotu 1, ako je najväčšie číslo, ktoré je uložené v stĺpci predstavujúcom primárny kľúč. Názorný príklad SQL skriptu pre vytvorenie jednej tabuľky nástrojom *SQLGen* vyzerá nasledovne:

```
CREATE SEQUENCE seq_id_table_name
START WITH 1
INCREMENT BY 1
NO MINVALUE
```



# Use of ANTLR4 for parsing in YAJCo

<sup>1</sup>Miroslav REMÁK, <sup>2</sup>Sergej CHODAREV

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

<sup>1</sup>miroslav.remak@student.tuke.sk, <sup>2</sup>sergej.chodarev@tuke.sk

**Abstract** – This work describes the integration of ANTLR4 into YAJCo as a parser generator backend. YAJCo is a tool used to develop computer languages which, with the help of external parser generators, generates parsers based on the domain models of languages in the form of annotated Java classes, instead of grammars. A translator from the domain model of the language into the input grammar for ANTLR4 was developed. In addition, a unified lexer was implemented, that can be used by all parser generator backends. The solution was tested on multiple languages developed in YAJCo. The tests confirmed that the implementation is complete.

**Keywords** – annotations, ANTLR4, lexical analyzer, object model, parser generator, YAJCo

## I. INTRODUCTION

YAJCo<sup>1</sup> (Yet Another Java Compiler Compiler) is a tool for computer language development [1] created by the Department of Computers and Informatics at Technical University of Košice. It was developed as a part of research on domain-specific languages that discovered an innovative way of designing languages centered around abstract syntax.

Unlike traditional approaches that start with the definition of concrete syntax, in YAJCo one defines a domain model of a language in the form of Java classes that represent abstract syntax. These classes are later extended with annotations for concrete syntax specification. The output of YAJCo is a parser that transforms an input sentence into an instance of the domain model — object model — as well as other optional tools.

The philosophy of YAJCo is to integrate existing parser generators as backends instead of coming up with new parsing technology. Currently it supports JavaCC, a top-down parser generator, and Beaver, a bottom-up parser generator. This work integrates another powerful top-down parser generator, ANTLR4, into YAJCo. In comparison to JavaCC it provides a stronger input recognition technique ( $ALL(*) > LL(k)$ ), built-in support for operator associativity and precedence and elimination of direct left recursion [2]. As a part of the work we have also unified lexical analysis used by different YAJCo parser generator backends.

## II. YAJCo

This section will cover YAJCo in greater detail. YAJCo expects a domain model in the form of annotated Java classes as input and can generate the following tools as output:

- *parser* — a Java class capable of transforming an input sentence into an object model,
- *visitor* — a Java class implementing the visitor design pattern for walking through an object model and reacting to model elements by implementing the appropriate visitation methods,
- *pretty printer* — a Java class inheriting from the visitor that transforms an object model into a readable language sentence with the help of hint annotations for things like indentation and white spaces.

The workflow for generating a parser is as follows: user-provided annotated classes are processed by an annotation processor at compile time, producing an internal model of the language. Based on this model, a parser generator backend generates an input grammar for the parser generator. The grammar also contains semantic actions for the construction of the object model. The parser generator then generates a parser.

Every Java class that is part of the domain model corresponds to a concept in the language. The main annotation `@Parser` specifies the starting concept, token types (name-pattern pairs) and patterns skipped during lexical analysis. There are several possible types of relationships between language concepts: composition, inheritance and referencing.

<sup>1</sup><https://github.com/kpi-tuke/yajco/>

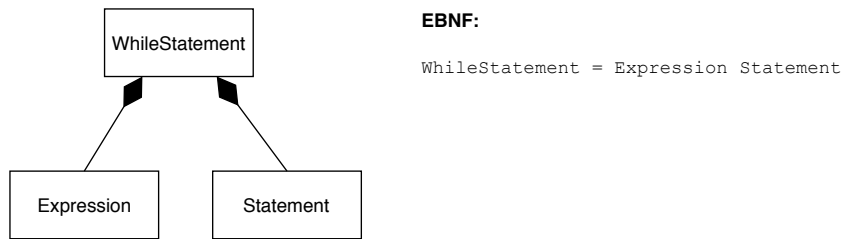


Fig. 1 Example of composition in YAJCo and the corresponding grammar

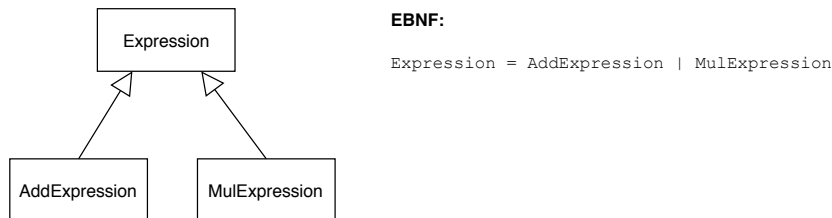


Fig. 2 Example of inheritance in YAJCo and the corresponding grammar

### A. Composition

To express composition, constructor (or factory method) parameters are used. This is in contrast to how composition is typically expressed in object-oriented programming — by using member variables. One of the reasons for that decision was to allow multiple notations of a concept via multiple constructors.

Most of the time, a constructor parameter is of a reference type (concept class). As you can see in Figure 1, this is represented by using a nonterminal symbol of the composed concept on the RHS (right-hand side) of the production for the composing concept in the grammar.

A parameter that is of a primitive type or `java.lang.String` expresses composition of an anonymous concept — one that does not have a corresponding class. In a grammar this is represented by using a lexical symbol on the RHS of the concept production. For a `String`, text of the matched token is directly passed to the constructor. For numeric types the token text is first converted to a numerical value based on the decimal notation. The lexical symbol that corresponds with the anonymous concept is specified by the annotation `@Token` applied on the parameter.

Composition multiplicity can be expressed by using a parameter of an array, list or set type. The range can be limited via the `@Range` annotation and the separator token specified via the `@Separator` annotation. `@Range` accepts a lower and upper bound. The upper bound may be infinite.

### B. Inheritance

To express inheritance between concepts, standard Java inheritance mechanism is used — that is extending classes or implementing interfaces. A concept may be present where its superconcepts (in the inheritance hierarchy) are expected. As can be seen in Figure 2, this is represented by alternatives in a grammar.

### C. Referencing

References and identifiers are common patterns in languages. Concept A (referring concept) refers to concept B (referenced concept) when concept B does not directly contain concept A, just a reference to it via an identifier. An identifier of a referenced concept is defined by applying the annotation `@Identifier` on a field of its class. A reference is defined by applying the annotation `@References` on a constructor parameter, which is of the same type as the identifier. The annotation specifies the field that will be filled in during reference resolution. Reference resolution is done by a component called the *reference resolver*. It involves turning an abstract syntax tree (unfinished object model), which cannot capture references, into a graph [3].

#### D. Operators

Operators in expressions are another very common pattern. In YAJCo, operators can be expressed by applying the annotation `@Operator` on a constructor of a concrete concept, which can specify precedence and associativity of the operator. Another annotation, `@Parentheses`, can be used to allow precedence to be controlled by parentheses. It would be applied on a class of the base expression concept.

#### E. Concrete syntax

Every constructor represents a concrete notation of the concept, therefore a concept may have multiple notations. The ordering of parameters also contributes to concrete syntax and represents the ordering of symbols in the grammar.

The annotations `@Before` and `@After` are used to specify lexical symbols before or after concept notation (if applied on a constructor) or its part (if applied on a parameter). They can be used to express keywords.

The already mentioned annotations `@Token`, `@Separator` and `@Parentheses` also specify concrete syntax.

### III. ANTLR4

ANTLR4 is an *ALL(\*)* parser generator [4], which takes a context-free grammar as input and produces a lexer and parser as output. The generated parser takes an input sentence as input and produces a parse tree as output. Multiple target languages, including Java, are supported.

Generated parsers are implemented using the recursive-descent method [4] — for each rule there is a corresponding method in the parser class. Every method builds a part of the parse tree — the outputs of these methods are parse tree nodes. The method that is called first to initiate syntax analysis determines the starting symbol — this information is not part of the input grammar. The node it produces is also the root of the parse tree. The leaves of the tree are terminal nodes (tokens).

There is a context class for every nonterminal node that provides generic methods for getting children and the parent node, as well as grammar-specific methods, such as getting children for a specific symbol in a rule.

Similarly to other parser generators, the grammars are specified in Extended Backus-Naur Form (EBNF). It is also possible to include semantic actions and extend the context classes of rules with custom fields. In a semantic action, a special construct `$ctx` may be used to denote the context object of the rule it is associated with.

### IV. INTEGRATION OF ANTLR4 INTO YAJCo

First of all, in order to integrate ANTLR4 into YAJCo it is necessary to implement a parser generator backend and register it as a service for the annotation processor. That means implementing the interface `CompilerGenerator` and its method `generateFiles` that takes the internal model of the language as a parameter and is expected to generate the parser.

When it comes to lexical analysis, ANTLR4 is capable of generating lexical analysers based on lexical rules in the grammar. It was however decided to use a custom lexical analyser, already present in YAJCo, for several reasons:

- YAJCo uses different notation of regular expressions for specifying tokens, so it would be required to translate it.
- We needed to preserve a feature, where the text of a matched token is supposed to correspond to the group of its regular expression instead of the full expression (unless there are no groups).

YAJCo provides a component for generating generic grammars with actions from the language model, `YajcoModelToBNFGrammarTranslator`, that could help with the integration. However, it was designed for LR parsers, so it generates indirect left recursion, which ANTLR4 cannot deal with, in cases of operators with multiple levels of inheritance, which can be seen in Figure 3. Therefore it was decided to implement a custom grammar generator.

#### A. High-level overview

The grammar generator takes the internal language model and generates an ANTLR4 grammar model — the abstract representation of the grammar. Grammar is modeled so that the generator does not depend on the details of the textual representation and to avoid code duplication. The grammar model is then translated into the textual representation to be processed by ANTLR4. This is illustrated in Figure 4.



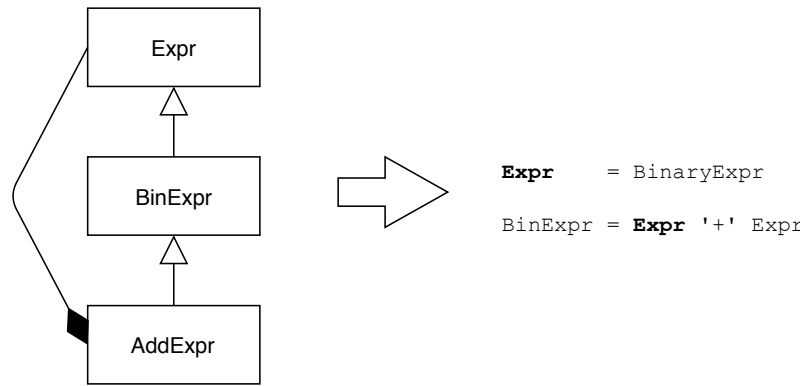


Fig. 3 Indirect left recursion in a grammar generated from the language model

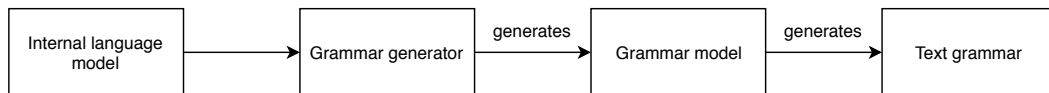


Fig. 4 Architecture of grammar generator

The grammar generator has two phases:

- 1) Generating rules for concepts that are roots in the inheritance hierarchy. Notations of the subconcepts are merged into the RHS of the root concept rules to avoid indirect left recursion with operators.
- 2) Generating rules for concepts that are *not* roots in the inheritance hierarchy and do not have their own rule due to the merging mentioned above, but require that rule due to being in a composition relationship with some other concept.

The context class of each rule is extended with a custom field called “\_retval” for the return value of the rule. That is used to map the parse tree to the object model. The semantic actions embedded in the generated grammar build this object model.

### B. Grammar generation algorithm

The algorithm begins with iterating over the root concepts in the inheritance hierarchy — those that do not have a parent. For each root concept, a rule is created and every concrete concept that is a direct or indirect child of it is translated into a list of alternatives according to the algorithm described in chapter IV-C. These lists of alternatives are then joined together into a single list of alternatives.

Once a root concept is translated into a list of alternatives, it still requires further processing. If the root concept is annotated with `@Parentheses`, an alternative in the form of `LPAR nonterminal RPAR` is prepended to the list of alternatives. The nonterminal symbol refers to the root concept rule itself. The semantic action for this alternative assigns the return value of `nonterminal` to the return value of the root concept rule.

Next, the precedence of operator alternatives must be resolved. They are sorted by precedence (as provided by the `@Operator` annotation) because that is how precedence is expressed in ANTLR4 grammars. Associativity, on the other hand, is expressed directly by marking an alternative. Alternatives with the same precedence are joined together with a subalternative in the place of the token they differ in. The semantic action checks the token type and executes the semantic action of one of the original alternatives.

When all root concepts rules are generated, the following problem needs to be addressed: concept *A inherits* from abstract concept *B* and another concept *C has* concept *A*. Since the RHS of the rule *A* was merged into the rule *B*, a new rule for the concept *A* must be created. This is solved as follows:

- 1) Find out constructor parameters with a reference type or a list/set/array type with an inner reference type.
- 2) If that reference type associates with a concept without a rule, create a rule for it according to the algorithm for processing root concepts.

Lastly, a new *main* rule is created that wraps the starting rule. It features a special EOF token at the end which forces the entire input sentence to be taken into account instead of possibly just a part of it. In other words, it disallows “garbage” after the text matching the starting rule.



### C. Translating concrete concept to a list of alternatives

This algorithm takes a concrete concept as input and produces a list of alternatives as output. The notations (constructors or factory methods) of the concept are iterated over. Each notation represents a single alternative in the output list.

The rest of this chapter details how a notation is translated to an alternative. When translating a notation, we use two data structures that are empty at start:

- 1) a sequence of grammar elements forming an alternative,
- 2) a list of arguments (Java expressions), that will be used to construct the final semantic action for the alternative.

Next, the notation's parts are iterated over. A notation part can either represent a constructor parameter, or a keyword originating from the annotations `@Before` and `@After`. The keyword parts are in expected order unlike the annotations, e.g. `@After("TOKEN") Type param` produces the keyword part after the constructor parameter part.

If a *keyword part* is found, a terminal/token symbol is added to the alternative. Nothing is added to the argument list because that part does not contribute to abstract syntax.

If a *constructor parameter part* is found, a terminal or nonterminal symbol is added to the alternative depending on the parameter's type.

In a case when the parameter part's type is a *primitive type* or `String`, it is going to be a terminal symbol. If the parameter is annotated with `@Token`, the symbol is taken from the annotation; otherwise, the symbol is deduced from the parameter name. An expression for getting the text of the token is added to the arguments list: `$ctx.<symbol>.getText()`. If the type is `String`, the token text is taken as is; otherwise it goes through conversion, e.g. `Integer.parseInt(...)` for `int`.

In a case when the parameter part's type is a *reference type* (concept class type), a nonterminal symbol for the concept is added to the alternative. An expression for getting the return value of the concept rule is added to the argument list: `$ctx.<symbol>._retval`. To reiterate, the field `_retval` is used to map the parse tree to the object model.

In the last case when the parameter part's type is a *collection/array type*, a new rule is created and its symbol appended to the alternative. An expression for getting the return value of the new rule is added to the argument list: `$ctx.<symbol>._retval`. The RHS of this new rule depends on the parameter annotations `@Range` and `@Separator`. For example, for a range of  $(0, \infty)$  and separator token `SEP`, the RHS would be:

```
(innerRule (SEP innerRule)* )?
```

If the inner type is a reference type, `innerRule` refers to a concept rule; otherwise it refers to a token. At this time the inner type may not be another collection/array type. The semantic action of the new rule asks ANTLR4 for a list of nodes associated with the symbol `innerRule` via the expression `$ctx.innerRule()` and converts it to a `List`, `Set` or array of concepts or primitives/strings depending on the exact parameter type. For example, for an array of `Concept` objects the action may look like this:

```
$_retval = $ctx.concept()  
    .stream()  
    .map(elem -> elem._retval)  
    .toArray(Concept::new);
```

At this point all the notation parts are processed and the alternative and the argument list are filled. For making the final semantic action of the alternative, the expressions in the argument list are joined together in a constructor or factory method call. The object model element produced by the constructor is registered in the reference resolver and assigned as the return value of the concept rule. The action may look like this:

```
$_retval = yajco.ReferenceResolver.getInstance().register(  
    new Concept(arg1, arg2, ...), arg1, arg2, ...);
```

### D. Parser generation

ANTLR4 is executed to generate a parser based on the grammar generated by YAJCo. Further steps must be made to present the parser to the user: generating a wrapper class that provides unified interface which does not depend on the details of ANTLR4 and also invokes the reference resolver after parsing is done.

## V. UNIFIED LEXICAL ANALYSIS

YAJCo provides a lexical analyser based on Perl-compatible regular expressions. However, in the past its code was duplicated for every parser generator backend, because of different interfaces required by parser generators. Changes to the lexical analysis would therefore have to be done in multiple places.

As a part of this work, the common code implementing matching tokens and skipping patterns was moved to a single class. The lexer class generated by the parser generator backend is now only an adapter between the lexer interfaces of YAJCo and the parser generator.

The common lexer class takes an input sentence, list of token definitions (number-regular expression pairs mapping token types to patterns) and list of skipped regular expressions in its constructor. The generated lexer instantiates the common lexer and performs token conversion between the interfaces.

## VI. CONCLUSION

The goal of this work was to improve YAJCo. The main contribution is the support of a new parser generator, ANTLR4. An analysis of YAJCo and ANTLR4 lead to design of the backend in a way that avoids generating grammars with indirect left recursion, which ANTLR4 cannot deal with, in inheritance relationships between certain concepts, and leaves the rewriting of ambiguities in operator alternatives to ANTLR4. In comparison to the existing top-down backend for JavaCC, it benefits from stronger parsing technique and direct support of associativity and precedence of operators.

The solution was tested using integration tests of multiple languages, such as Oberon-0 [5] and JSON<sup>2</sup>, that have been implemented using YAJCo in the past. These tests checked whether the generated parser transformed various input sentences into expected object models.

Other contribution is unifying the lexical analyser code for better maintainability.

## ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by projects VEGA No. 1/0762/19: “Interactive pattern-driven language development” and FEI TUKE Grant no. FEI-2018-57 “Representation of object states in a program facilitating its comprehension”.

## REFERENCES

- [1] J. Porubän, M. Forgáč, M. Sabo, and M. Běhálek, “Annotation based parser generator,” *Computer Science and Information Systems (ComSIS)*, vol. 7, no. 2, pp. 291–307, 2010.
- [2] T. Parr, S. Harwell, and K. Fisher, “Adaptive LL (\*) Parsing : The Power of Dynamic Analysis Technical Report,” in *2014 ACM International Conference on Object Oriented Programming Systems Languages & Applications (OOPSLA '14)*. ACM, 2014, pp. 579–598.
- [3] D. Lakatoš, J. Porubän, and M. Bačíková, “Declarative specification of references in dsls,” in *2013 Federated Conference on Computer Science and Information Systems*, Sep. 2013, pp. 1527–1534.
- [4] T. Parr, *The Definitive ANTLR 4 Reference*, 01 2013.
- [5] S. Chodarev and M. Bačíková, “Development of Oberon-0 using YAJCo,” in *2017 IEEE 14th International Scientific Conference on Informatics*. IEEE, nov 2017, pp. 122–127.

<sup>2</sup>Official examples for YAJCo are available at <https://github.com/kpi-tuke/yajco-examples/>

# Simulation of Object Recognition by Unmanned Aerial Vehicles

<sup>1</sup>Renát HALUŠKA, <sup>2</sup>Luboš OVSENÍK, <sup>3</sup>Peter ŠULAJ, <sup>4</sup>Milan KOŠČO

<sup>1,2,3</sup> Department of Electronics and Multimedia Communications, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>4</sup>Department of Economic and Social Geography, Demography and Territorial Development Bratislava, Mlynská dolina, Slovak Republic

<sup>1</sup>renat.haluska@tuke.sk, <sup>2</sup>lubos.ovsenik@tuke.sk <sup>3</sup>peter.sulaj@tuke.sk,  
<sup>4</sup>milan.kosco@icloud.com

**Abstract** — This article deals with drone analysis, simulation and object recognition. By analyzing the simulators and their provided options, one is chosen to simulate the drone with camera and apply algorithm for purpose of the anti-collision system to the object recognition algorithm.

**Keywords** — Simulation, Gazebo, ROS, Quadcopter, Sensor, Object recognition

## I. INTRODUCTION

Unmanned Area Vehicles (UAVs) are more commonly known as drone. It is a flying robot that can be operated remotely using the controller or software. Also, one way to control its flight is to apply a flight plan that is loaded into the system and it interacts with installed sensors and GPS navigation.

In the past, drones were often associated with the military, where they were originally used for exercises against air units, information gathering, and later as weapon platforms. Nowadays, drones are also used in a wide range of civilian tasks, from search and rescue, surveillance, traffic monitoring, weather monitoring and fire extinguishing to personal search, photography and even delivery services [1].

For financial reasons and also for reasons of compatibility of individual components, it is advisable to virtualize the system. In a real environment where more drones are available, limiting factors such as weather, battery, and other objects in space arise. Such objects are, for example, trees, poles, or birds. The drone itself would float in the air for a few minutes, and then it would be necessary to charge it, which would take a lot of time. A robotic simulator is used to create an application later applied to a physical robot, which saves costs and time. At best, these applications can be converted to a physical robot without modification, others are sometimes rebuilt or modified.

## II. SIMULATOR OF UNMANNED AREA VEHICLES

The term robotic simulator may refer to several different robotics applications. For example, in mobile robotic applications, message-based simulators allow users to create simple worlds of solid objects, light sources, and program robots to interact with objects of the world.

Surrounding-based simulation allows activities that are more biological in nature than simulators that are more binary or computational. In addition, in simulators that are based on the behavior of objects or the environment, the objects can learn from errors in the data collected.

Simulations using virtual working environment models and robots themselves can bring benefits to the company, but also to the programmer. Simulation reduces costs and robots can be programmed off-line to eliminate any downtime. The robot's actions and mounting parts can be visualized in a three-dimensional virtual environment months before even prototypes are produced. Writing code for simulation is also easier than writing code for a physical robot. While the shift towards virtual simulations for robot programming is a step-in front, many of these applications are only at an early stage in the user interface design.

### A. Gazebo simulator

Gazebo is a dynamic multi-robot simulator with a 3D modeling environment. This software offers accurate and efficient robot simulations in complex interiors and exteriors. It is being developed by OSRF (Open Source Robotics Foundation) developers. One of the biggest advantages is that it is open source, which means that users do not have to pay for using this program.

One disadvantage for users who opt for this software is that it is only supported for one platform, and that is Linux [2]. Most often, Gazebo is used to test robotic algorithms, design robots, and regression testing with real scenarios. Once installed, it includes a library of various robot models and environments, a wide range of sensors, a simple program and graphical interface.

### B. Robot Operation System

ROS or Robot Operation System is one of the best robotic software programs. It is a set of tools, libraries and conventions designed to simplify the task of creating a comprehensive and robust robot behavior across a wide range of robotic platforms. The ROS itself does not have a graphical interface. It runs in the background of the system; its execution can be influenced by the terminal window and commands for this software. The output can be monitored in the terminal or in the simulation environment itself.

The integration between ROS and Gazebo is provided by a set of plugins that are part of Gazebo and support many existing robots and sensors. Because the plugins are structurally the same and presented in Gazebo and the rest of the ROS system, the user can write a simple ROS script that is compatible with simulation, sent messages or logs and hardware. The user can develop his own application in conjunction with the two software himself, try it in a simulation, and deploy it on a physical robot with little code modifications or, in better cases, no changes. It can also use the OpenCV library, which is known to be used to recognize individual objects in an image or video. It provides many vision algorithms and tools that a developer can use and work with. ROS, in combination with this library, allows sending or displaying data transmitted by cameras of various types to OpenCV algorithms, such as segmentation and search. If a robot or object in Gazebo has a camera attached to it, you can use ROS to view data that the camera streams [3].

### C. Gazebo and ROS

Gazebo provides a full range of ROS APIs to enable users to edit and retrieve information about various aspects of the simulated world. To integrate and collaborate with this two software, a *gazebo\_ros\_pkgs* package is needed, which includes all the support functions for cooperation. It provides the necessary interfaces to simulate a robot in Gazebo based on ROS messages, services and dynamic reconfiguration [4].

## III. ALGORITHM OF OBJECT DETECTION

In computer technology, this functionality is provided by image processing and real-world vision algorithms that deal with the detection of elements of one category such as people, buildings, cars, or animals in digital images and videos. At present, certain recognition algorithms are so developed that they can recognize a particular face or object in motion.

You Only Look Once (YOLO) is an object detection algorithm that differs significantly from the previously mentioned region-based algorithms. In YOLO, a single Convolutional Neural Network (CNN) predicts bounding boxes and class probabilities for these boxes. The algorithm works by taking an image and dividing it into an  $S \times S$  grid. Within each grid it takes a number of bounding boxes. For each bounded box, CNN issues class and shift probability values for the bounding box. Class bounding boxes over the threshold are selected and used to locate the object in the image.

YOLO is faster than previous object detection algorithms, can recognize up to 45 frames per second. At the same time, the convolutional network of the algorithm predicts more bounding boxes and class probabilities for these boxes. Algorithm trains on full images and directly optimizes detection performance. This unified model has several advantages over traditional object detection methods. As mentioned above, it is faster than other detection algorithms. Using Titan X GPU without any great graphics workload, the faster version of this algorithm was able to process over 150 images per second. Usually it processes from 45 which is still much more than R-CNN, Fast R-CNN or Faster R-CNN algorithms.

The first benefit is the ability to modify the resolution of the input image and thus tune

between accuracy and speed of the detector [5]. The second benefit is that when predicting it deals with the image as a whole and not with the individual areas. Unlike Region Proposal-based algorithms, YOLO perceives the entire image during training and testing, so it implicitly encodes contextual class information as well as its appearance. Fast R-CNN and best detection methods are often missing when it comes to detecting objects in the background because they don't see a wider context. YOLO makes less than half of the errors compared to Fast R-CNN. YOLO learns generalized object representations. When trained on natural images and tested on artwork, the algorithm overcomes the best detection methods, such as Deformable Parts Models (DPM) and R-CNN. It is unlikely that an algorithm will fail when new, undefined object classes or unexpected inputs are used [6].

#### IV. IMPLEMENTATION OF YOLO ALGORITHM

The first thing to do is to create a working environment. It is up to the user to name the working folder, but most often it is created with the additional name `_wsko` work space. Once created, another folder named `src` "needs to be created in this folder, especially because the catkin compiler can create all the necessary If a subfolder folder is created, you need to use the terminal to enter the project folder and execute the `catkin make` command. This terminal command is available after installing ROS and causes the project to create everything that is needed to make. Every time a new functionality, library or project is added to a project, it is necessary to run this command to link each other's dependencies. a window to recognize new commands that are not in the system by default. Therefore, set the source for the terminal to this file.

From the list, you can select the functionality and then run it from the terminal window. *Ar Drone* is an additional ROS library that controls the drone and its components. It contains scripts that can control drone, fly it in simulation. The library is freely available and downloadable from their sources. To run the camera, it need to use the command:

```
$ rosrn image_view image_view image:=/ardrone/image_raw
```

After entered a command into a terminal, a new window opens, showing the output from the drone camera (Fig. 1).

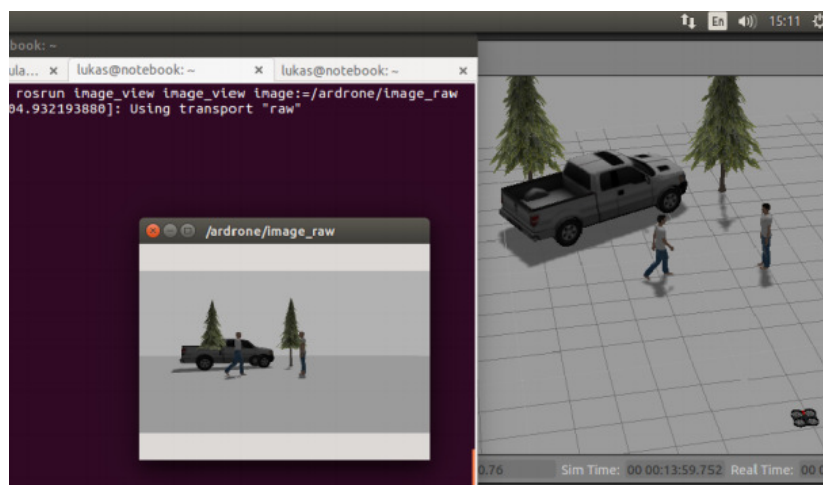


Fig. 1 Output from camera simulated drone

As we can see in Fig. 1, on the left is a listing in the terminals. After entering the command, a new window called `/ardrone/image_raw` was opened, showing the current status, the video that takes the drone on the simulation to the right.

Once the ROS-modified algorithm is included in the project, it must be restarted in the terminal window in the `catkin make` main folder. The compiler link all the libraries in the project. This will allow you to use all of the project's functionality and libraries when you launch and set up a terminal resource from a project. If the `catkin make` command was omitted, the project in its `CMakeList.txt` would not have all the libraries and paths that the compiler adds automatically, so there would be no option in the terminals to run certain functionalities. The offer would only be current since the last compilation. In order to search objects directly from the camera, it is necessary to modify the source file of the algorithm to take the image from the camera in the following file `/src/darknet_ros/darknet_ros/config/ros.yaml` and enter the following code in the `subscribers` section: `camera_reading_topic: /ardrone/image_raw queue_size: 1`

Consequently, it is sufficient to start object detection at the terminals. In the terminal window, the object that the algorithm has found and the percentage match for which the object matches the assumptions are displayed. The window itself will be launched, in which these objects will be

marked and named. Fig. 2 shows an example in which there are two people and a car that have been detected by the algorithm.

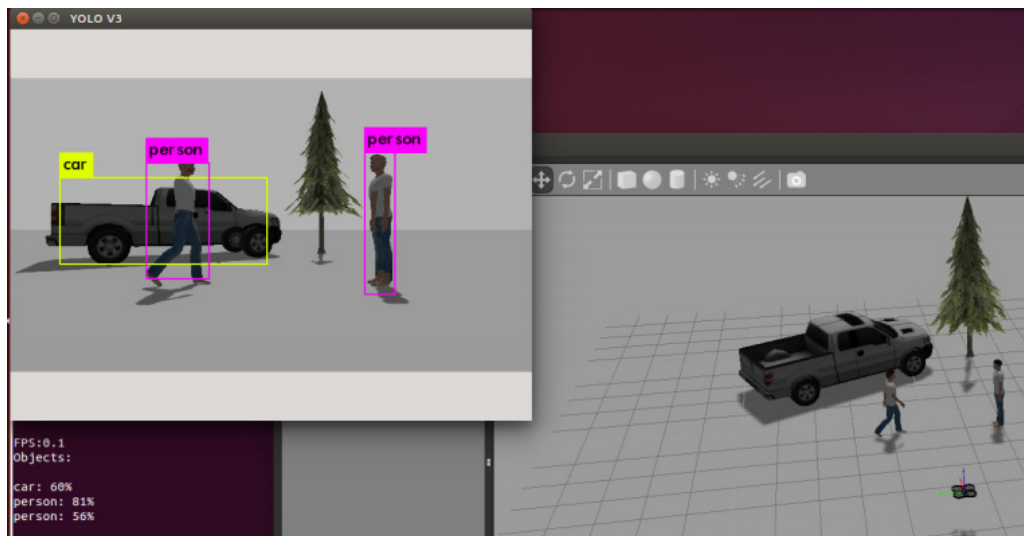


Fig. 2 Object recognition using YOLO algorithm

The left window shows the camera output, exactly what the drone sees. In this window, the objects are marked and named. In the background is output from the terminal window showing the percentage of predicted objects and the simulation itself on the left. In the example, an older version of the YOLO algorithm is used, which does not have a tree characteristic implemented in it, so it could not recognize it.

## V. CONCLUSION

This work was focused on implementation of object detection algorithm that can use anti-collision systems. The YOLO algorithm was successfully implemented on a virtualized drone that was able to recognize objects in front of it. The advantage that it was all simulated is that a lot of time was saved by not having to be charged, the implementation tests were not weather limited.

One of the major disadvantages of this implementation is virtualization itself. By designing and implementing the project in VirtualBox and then simulating individual situations in it, performance is greatly reduced. When enabling 2D and 3D acceleration in the simulator didn't work properly. Using the CPU itself, the algorithm was able to recognize only 0.1 FPS, which is very low.

Such an implementation of the algorithm would be used mainly to generate statistics or monitor certain areas. For example, to determine pedestrian density or the number of cars at risk junctions, traffic monitoring, or police to control air speed from cars. However, additional components for distance determination and speed calculation should be implemented.

## 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. 023TUKE-4/2017.

## REFERENCES

- [1] A. Earls, S. Shea, and I. Wigmore, "What is drone (unmanned aerial vehicle, UAV)? - Definition from WhatIs.com," *IoT Agenda*. [Online]. Available: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/drone>.
- [2] Osrf, "Gazebo Architecture," *gazebo*. [Online]. Available: <http://gazebosim.org/tutorials/?ut=architecture#System>. [Accessed: 24-May-2019].
- [3] "Integration with Other Libraries," *ROS.org*. [Online]. Available: <http://www.ros.org/integration/>. [Accessed: 24-May-2019].
- [4] Osrf, "ROS communication," *gazebo*. [Online]. Available: [http://gazebosim.org/tutorials/?ut=ros\\_comm](http://gazebosim.org/tutorials/?ut=ros_comm). [Accessed: 24-May-2019].
- [5] J. Redmon and A. Farhadi, "Yolo9000: Better, faster, stronger," in *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 6517–6525, July 2017.
- [6] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2016.

# Využitie rádiových BLE majákov pri určovaní polohy objektov

Ján VAŠČÁK

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

jan.vascak@tuke.sk

**Abstract** – Rádiové majáky Bluetooth Low Energy (BLE) sú pomerne novou technológiou v oblasti indoorovej navigácie (t. j. v interiéri). Predstavujú lacnú alternatívu voči iným lokalizačným metódam s potenciálom vysokej presnosti. Avšak, BLE majáky majú aj svoje nedostatky. Jedným z nich je fakt, že ich signály sú často silne zašumené. Tento príspevok sa zaoberá možnosťou použiť BLE majáky v indoorovej navigácii spolu s modifikovanou verzou Kalmanovho filtra ako účinného prostriedku pre elimináciu šumov. Lokalizácia je založená na meraní tzv. sily prijatého signálu a následnej trilaterácii, výsledkom čoho je výpočet polohy prijímača BLE signálu. Navrhnutý navigačný systém je napokon doplnený aj o hĺbkový senzor, čím je ho možné použiť pre tvorbu navigačnej mapy. V tomto príspevku je prezentované jeho použitie pre navigáciu robota, kde bola vykonaná rada experimentov a najvýznamnejšie výsledky sú tu popísané a zosumarizované.

**Keywords** – indoorová navigácia, lokalizácia, Kalmanov filter, rádiový maják, trilaterácia

## I. ÚVOD

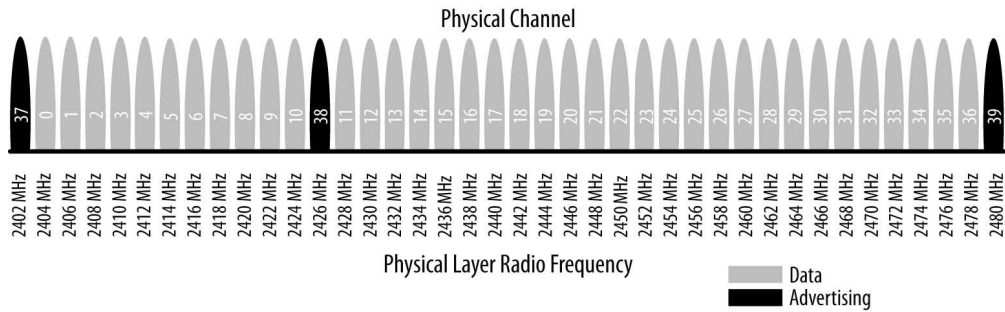
Základným problémom pre úspešnú navigáciu vozidiel alebo mobilných robotov je určenie ich polohy, t. j. lokalizácia, ktorej metódy môžu byť rozdelené na tzv. outdoorovú a indoorovú (t. j. exteriér a interiér), čiže lokalizáciu v exteriéri a interiéri. Principiálne rozdiely vo vlastnostiach týchto dvoch typov prostredí vyžadujú použiť odlišné metódy. V tomto článku sa budeme zaoberať indoorovou navigáciou.

V súčasnosti už existuje celá rada lokalizačných technológií, ktoré však majú jednu spoločnú vlastnosť. Sú založené na elektromagnetických signáloch (kamery a sonary sú jednými z mála výnimiek). Môžu byť rozdelené podľa rozsahu, schopnosti prenikať cez pevné predmety alebo presnosti [1]. Použitie WiFi technológie je pomerne časté, nakoľko dosahuje presnosť až niekoľkých decimetrov [2], čo pre približnú lokalizáciu je postačujúce. Taktiež dostupnosť vhodnej bezdrôtovej siete s potrebným počtom prístupových bodov (uzlov) napr. v budovách tiež nie je zväčša problém. Avšak WiFi zariadenia pracujú väčšinou v pásme 2.4 GHz, ktoré je často využívané aj inými zariadeniami, a tak vzniká riziko zašumenia signálu. Navyše, WiFi je často terčom hackerov, čo z bezpečnostných dôvodov môže byť vážny problém.

Rádiové majáky v indoorových aplikáciách sú celkom novým prostriedkom, ktoré môžu zmierňovať nedostatky napr. WiFi, ak ich navzájom vhodne skombinujeme, napr. zlepšenie dosahu [3]. V roku 2013 bol spoločnosťou Apple zavedený nový protokol, tzv. *iBeacon* a je založený na technológii *Bluetooth Low Energy* (BLE). Takéto zariadenia bežne nazývané majáky (beacons) sú typické nízkymi výrobnými nákladmi a nízkou spotrebou energie, takže ich batérie môžu pracovať až niekoľko rokov [4]. Pre určenie polohy objektu je použitý princíp tzv. *indikácie sily prijatého signálu* (ISPS), na základe ktorého dokážeme určiť vzdialenosť medzi vysielačom, ktorého polohu poznáme a prijímačom, ktorého polohu zistíme. Využitím pravidiel trilaterácie dokážeme na základe nameraných vzdialeností od viacerých vysielačov určiť polohu takéhoto prijímača.

Avšak, BLE signál nie je stabilný a preto je potrebné hľadať spôsoby, ako extrahovať správnu hodnotu SPS, napr. použitím vhodných kompenzačných hodnôt [5], či tzv. metódami *odtlačkov* [6], [7]. V tomto článku sa na tento účel snažíme využiť známy a dobre overený *Kalmanov filter* (KF), ktorého úlohou je korigovať namerané SPS hodnoty minimalizáciou ich šumu.





Obr. 1 Frekvenčné kanály BLE majákov [9].

## II. LOKALIZÁCIA POMOCOU BLE TECHNOLOGIE

Keďže BLE zariadenia sú charakteristické ich nízkou cenou a dlhou životnosťou ich batérií, tak sa javia byť vhodnými pre také koncepty ako napr. *Internet vecí* (Internet of Things - IoT) a *inteligentný priestor*. BLE technológia je vystavaná na Bluetooth 4.0, vychádzajúc z technológie *Wibree* [8]. Je schopná poskytnúť komunikáciu medzi veľkým množstvom zariadení pracujúcich pod rôznymi operačnými systémami. Táto vlastnosť umožňuje jednoduchú a rýchlu integráciu do viacerých platforiem, a tak vytvoriť multi-platformové aplikácie.

Avšak hlavným problémom BLE technológie je fakt, že pracuje na pásme 2.4 GHz, ktoré sa taktiež využíva mnohými inými zariadeniami. Ďalší problém spočíva v ohraničenom počte kanálov na vytvorenie spojenia, t. j. spojovacích (tzv. advertising). Hoci je k dispozícii až 40 kanálov (s odstupom po 2 MHz), iba 3 z nich sú spojovacie a zvyšné slúžia na prenos samotných dát. Spojovacie kanály sa používajú pre kontaktovanie (odhalenie) okolitých zariadení, vytvorenie samotného spojenia a jeho zabezpečenia [8], viď obr. 1. Avšak, v takých aplikáciách ako napr. lokalizácia je prvoradá signalizácia a nie prenos dát.

Vo všeobecnosti, správy, tzv. *advertisements*, ktoré sú vysielané BLE majákmi, obsahujú aj údaje v podobe ich jedinečných identifikátorov, ktoré sú nápomocné pri identifikácii jednotlivých majákov, ak sú naraz v dosahu viaceré z nich.

### A. Výpočet vzdialenosti pomocou ISPS

ISPS sa väčšinou využíva v metódach, kde sa používajú signálové technológie na určenie polohy objektu v priestore prostredníctvom signálu vysielaného zo zariadenia so známou polohou, v tomto prípade BLE majáka.

Sila každého signálu závisí na jeho šírení v danom prostredí. Vo všeobecnosti rádiové signály sa vyznačujú týmito tromi negatívnymi vlastnosťami [10]:

- tlmenie,
- rušenie,
- deformácie v šírení signálu (rozptyl a pod.).

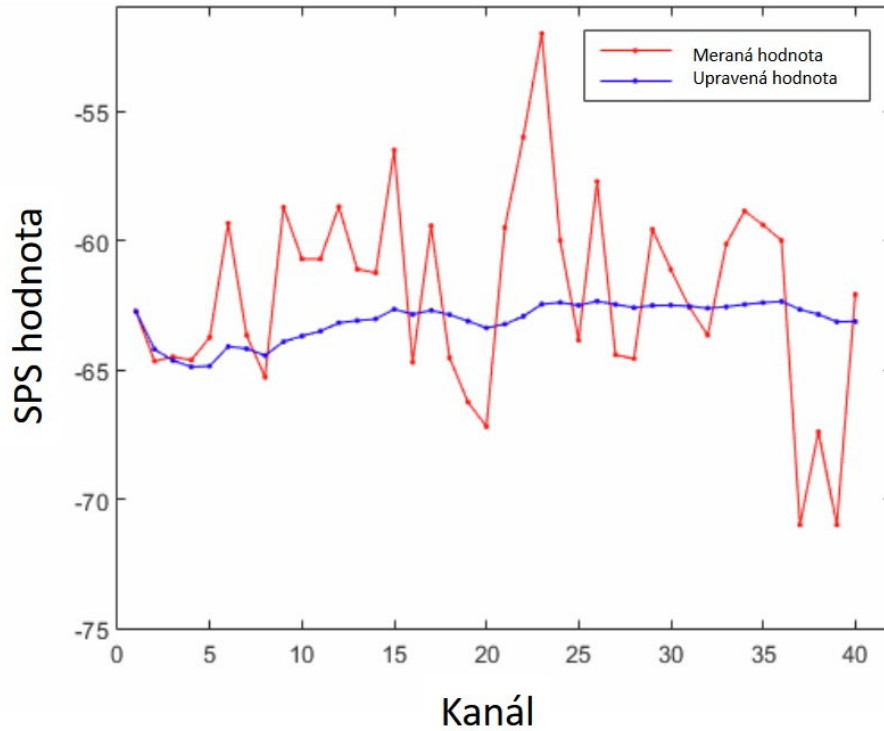
Tlmenie vzniká, ak elektromagnetické žiarenie je oslabené počas jeho prechodu cez objekty, t. j. čím je menšia vzdialenosť medzi vysielačom signálu a prijímačom, tým je väčšia hodnota SPS.

Keďže vysielaný signál je rušený, potrebujeme poznať niektoré typické hodnoty SPS pri typických vzdialenostiach a budeme sa na ne odvolávať ako na referenčné a budú uložené v databáze pre budúce použitie. SPS je navyše rozdielna pri jednotlivých majákoch, aj keď sú toho istého typu, preto typické vzdialenosti musia byť merané pre každý maják zvlášť. Z týchto dôvodov potrebujeme minimalizovať takéto nestability signálov pomocou KF.

Pre výpočet vzdialenosti  $d$  pomocou SPS použijeme nasledujúci vzťah:

$$d = \frac{SPS_m - SPS_r}{N}, \quad (1)$$

kde  $SPS_m$  a  $SPS_r$  sú nameraná a referenčná hodnota SPS pri danej vzdialenosti a  $N$  je konštanta závislá od vlastností daného prostredia. Na obr. 2 je uvedený príklad úplného SPS merania pre všetkých 40 kanálov pri vzdialenosti 1 m. Vidíme, že jednotlivé hodnoty vykazujú veľkú premenlivosť. Táto skutočnosť je zapríčinená už existujúcimi dôvodmi a takýto surový signál musí byť ešte spracovaný, aby sa odstránili vplyvy týchto porúch, všeobecne označovaných ako šum. Pre tento účel bol modifikovaný koncept KF.



Obr. 2 Namerané hodnoty SPS kanálov BLE majáka pred (plná čiara) a po filtrácii (bodkovaná čiara).

### B. Úprava KF pre minimalizáciu šumu

V ideálnom prípade by hodnota SPS mala závisieť iba na vzdialenosti medzi dvomi zariadeniami, viď (1). Avšak v skutočnosti je táto hodnota silne ovplyvnená okolitým prostredím, keďže šum vzniká aj odrazenými časťami signálov od objektov [4]. Analýzou ďalších možných rušení je možné dospieť k záveru, že ich poskladané účinky sa podobajú vlastnostiam štandardných typov šumov. Táto skutočnosť nám pomôže pri hľadaní vhodného prostriedku pre minimalizáciu šumu. Jedným z najúčinnjších pre spracovanie zašumených dát sa javí KF [11].

Vo všeobecnosti je KF rekurzívnym algoritmom, ktorého úlohou je odhadnúť stav zašumeného dynamického systému. Skladá sa z dvoch častí: *prediktora* a *korektora*. Tieto časti pracujú rekurzívne, opakujúc sa jedna za druhou. Berúc do úvahy špecifické potreby korekcie SPS, tak tieto dve časti sú definované nasledovne:

Prediktor:

$$x_{k+1} = A \cdot x_k + B \cdot u_k, \quad (2)$$

$$P_{k+1} = A \cdot P_k \cdot A^T + Q. \quad (3)$$

KF predikuje stav hodnoty SPS pre časový krok  $k + 1$ , ktorý je založený na stave z predošlého časového kroku  $k$ .  $A$  je prenosovou maticou, ktorá prevádza hodnotu SPS z časového kroku  $k$  do kroku  $k + 1$ . Súčasne je vypočítaná aj kovariancia chyby  $P_{k+1}$ , kde  $Q$  je kovariančna matica šumu.

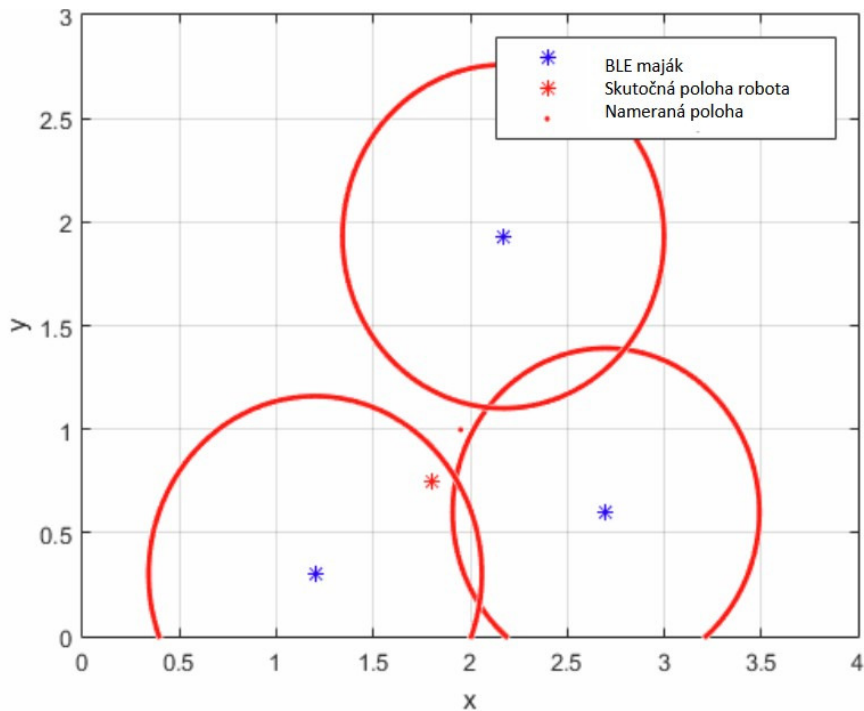
Korektor:

$$K_k = P_k \cdot H^T \cdot (H \cdot P_k \cdot H^T + R)^{-1}, \quad (4)$$

$$x_k = x_k + K_k \cdot (z_k - H \cdot x_k), \quad (5)$$

$$P_k = (1 - K_k \cdot H) \cdot P_k. \quad (6)$$

Na tomto mieste je zavedený výpočet tzv. *Kalmanovho zisku*  $K_k$ . Tento upravuje váhu predikovanej ako aj meranej hodnoty SPS, čiže určuje, ktorá hodnota bude mať väčší vplyv v procese filtrácie. KF získava zašumenú informáciu z meraní s cieľom zlepšiť presnosť odhadovanej hodnoty z predošlého kroku  $k$ , kde  $H$  je maticou meraní,  $R$  je kovariančna matica šumu a  $z$  je nameraná hodnota SPS. Následne je hodnota kovariancie chyby aktualizovaná. Obr. 2 ukazuje, ako sú namerané hodnoty SPS upravené použitím KF.



Obr. 3 Použitie trilaterácie na určenie polohy robota.

### C. Trilaterácia

V geometrii je trilaterácia definovaná ako proces určenia absolútnej alebo relatívnej polohy bodov pomocou merania vzdialeností s využitím geometrie kružníc, sfér alebo trojuholníkov [12]. Spolu s trianguláciou je to jedna z najviac využívaných geometrických metód pre určenie polohy objektu v priestore. V našom prípade používame kružnice pre výpočet polohy, ktorých priesečníky nám udávajú hľadanú polohu vo forme bodu, vid' obr. 3. Pre určenie hľadaného bodu je potrebné poznať polohy troch referenčných bodov a ich vzdialenosti voči nemu. Kružnice vytvorené na základe známych polôh referenčných bodov môžu byť popísané rovnicou (7), kde  $(x, y)$  je poloha hľadaného bodu,  $(x_i, y_i)$  je poloha  $i$ -tého referenčného (známeho) bodu ( $i = 1, 2, 3$ ) a  $d_i$  je hľadaná vzdialenosť [13].

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = d_i^2. \quad (7)$$

V prípade trilaterácie sa jedná o tri rovnice s dvomi neznámymi hodnotami, ktoré môžu byť riešené v jednom kroku. V skutočnosti sú údaje ohľadom polôh referenčných bodov a ich vzdialeností voči hľadanému bodu nepresné. Z tohto dôvodu sa používajú aspoň tri referenčné body.

## III. EXPERIMENTY A ICH VYHODNOTENIE

Aby sa získala úplná informácia o danom prostredí, boli údaje z BLE majákov umiestnených na význačných miestach doplnené aj o údaje z hĺbkového senzora, ktorý je kombináciou kamery a infračerveného senzora. Hlavným dôvodom je fakt, že hĺbkový senzor dokáže na kratšiu vzdialenosť priamej viditeľnosti presnejšie určiť polohu objektu. Na druhej strane BLE senzory sú schopné do istej miery pracovať aj za „roh“, t. j. signál dokáže prejsť aj cez tuhé telesá (napr. iný robot schovaný za prekážkou).

Navrhnutý systém bol implementovaný na mobilnom robotovi *TurtleBot* [14]. Ako hĺbkový senzor bol použitý *Asus Xtion Pro* [15]. Robot bol vybavený prijímačom BLE signálov, kde boli merané jednotlivé hodnoty SPS, potom filtrované pomocou upraveného KF a nakoniec s využitím trilaterácie (aj so zahrnutím údajov z hĺbkového senzora) bola vypočítaná jeho poloha. Táto bola následne využitá pri navigácii robota.

Za účelom analýzy zmien hodnôt SPS a vplyvu daného prostredia na presnosť určenia polohy boli experimenty vykonané v troch rôznych prostrediach (E1, E2, E3). Prostredie E1 je klasickou internátnou izbou o rozmeroch 3 x 5.4 m, kde bolo možné zachytiť signály od troch WiFi zariadení. Prostredie E2 je obyčajnou izbou v panelovom dome s rozmermi 3.4 x 3.4 m bez rušivých signálov. Napokon prostredie E3 je reprezentované školským laboratóriom o rozmeroch

Tabuľka 1

Vyhodnotenie experimentov určenia polohy robota v prostrediach E1, E2 a E3 na základe odchýlky skutočnej a nameranej polohy; SK – s Kalmanovým filtrom, BK – bez Kalmanovho filtra.

| Prostredie E1 |                     |                     |            | Prostredie E2 |    |                     |                     |            |       |
|---------------|---------------------|---------------------|------------|---------------|----|---------------------|---------------------|------------|-------|
| Č.            | Skutočná poloha (m) | Nameraná poloha (m) | Chyba (cm) |               | Č. | Skutočná poloha (m) | Nameraná poloha (m) | Chyba (cm) |       |
|               |                     |                     | SK         | BK            |    |                     |                     | SK         | BK    |
| 1.            | [1.80, 0.75]        | [1.86, 0.92]        | 18.03      | 36.22         | 1. | [1.25, 2.10]        | [1.38, 2.33]        | 26.41      | 57.14 |
| 2.            | [1.80, 0.75]        | [1.87, 1.02]        | 27.89      | 43.42         | 2. | [1.25, 2.10]        | [1.52, 2.14]        | 27.29      | 59.84 |
| 3.            | [1.80, 0.75]        | [1.91, 0.94]        | 21.95      | 31.14         | 3. | [1.25, 2.10]        | [1.87, 2.16]        | 52.34      | 51.47 |
| 4.            | [1.10, 0.65]        | [1.06, 0.86]        | 21.38      | 25.69         | 4. | [0.95, 2.75]        | [0.87, 2.49]        | 26.92      | 71.39 |
| 5.            | [1.10, 0.65]        | [0.82, 0.57]        | 29.12      | 37.01         | 5. | [0.95, 2.75]        | [1.25, 2.13]        | 68.87      | 72.24 |
| 6.            | [1.10, 0.65]        | [1.04, 0.43]        | 23.77      | 49.49         | 6. | [0.95, 2.75]        | [0.54, 2.61]        | 43.32      | 64.62 |
| 7.            | [1.78, 3.30]        | [1.96, 3.55]        | 30.81      | 66.28         | 7. | [1.80, 0.70]        | [1.91, 1.10]        | 41.48      | 57.27 |
| 8.            | [1.78, 3.30]        | [1.52, 3.46]        | 30.52      | 50.92         | 8. | [1.80, 0.70]        | [1.74, 0.75]        | 7.81       | 72.27 |
| 9.            | [1.78, 3.30]        | [1.67, 2.94]        | 37.64      | 44.38         | 9. | [1.80, 0.70]        | [2.08, 0.37]        | 43.27      | 73.76 |

| Prostredie E3 |                     |                     |            |        |
|---------------|---------------------|---------------------|------------|--------|
| Č.            | Skutočná poloha (m) | Nameraná poloha (m) | Chyba (cm) |        |
|               |                     |                     | SK         | BK     |
| 1.            | [3.94, 2.84]        | [3.26, 3.57]        | 99.76      | 157.49 |
| 2.            | [3.94, 2.84]        | [3.40, 3.70]        | 101.54     | 118.68 |
| 3.            | [3.94, 2.84]        | [3.37, 3.49]        | 86.45      | 127.86 |
| 4.            | [1.85, 4.00]        | [2.50, 3.43]        | 86.45      | 132.09 |
| 5.            | [1.85, 4.00]        | [2.60, 3.43]        | 94.20      | 116.47 |
| 6.            | [1.85, 4.00]        | [2.60, 3.86]        | 76.30      | 134.53 |
| 7.            | [2.00, 2.60]        | [2.39, 3.34]        | 83.65      | 149.68 |
| 8.            | [2.00, 2.60]        | [2.12, 2.28]        | 34.17      | 54.2   |
| 9.            | [2.00, 2.60]        | [2.37, 2.93]        | 49.57      | 112.38 |

7.1 x 7.1 m, kde sa nachádzali signály až od šiestich WiFi zariadení a z pohľadu rušenia bolo toto prostredie najviac zašumené. Majáky boli rovnomerne rozmiestnené vo všetkých troch prostrediach. Bolo použitých 6 majákov od dvoch rôznych výrobcov. V každom prostredí bola vykonaná séria meraní, kde sa menila poloha robota každých 30 sekúnd. Kvalita určenia polohy je nepriamo daná rozdielom medzi skutočnou a vypočítanou polohou.

Tabuľka 1 zobrazuje niektoré reprezentatívne merania, z ktorých je zrejme, že presnosť určenia polohy pomocou BLE majákov súvisí s daným prostredím. V jednotlivých prostrediach (E1, E2, E3) priemerné chyby polohy boli nasledovné: 26.67 cm, 37.52 cm a 79.12 cm. Ak za základ výpočtu percentuálnej chyby zoberieme najväčšiu možnú vzdialenosť v danom prostredí, čo je diagonála, tak nám percentuálne za jednotlivé prostredia vyjdú hodnoty 4.32, 7.8 a 7.88. Z uvedeneho vyplýva, že na presnosť merania majú síce negatívny vplyv aj rôzne rušivé elektromagnetické šumy, v našom prípade hlavne WiFi, ale okrem nich aj tvar danej miestnosti. Paradoxne, najmenej výhodná je malá štvorcová miestnosť, hoci aj s malým rušením, t. j. E2. Ak porovnáme výsledky dosiahnuté s KF a bez KF, tak jeho využitie sa javí úplne výhodné, nakoľko sa presnosť merania zlepšila viac ako 1.5 násobne.

#### IV. ZÁVER

Cieľom tohto výskumu bolo overenie možnosti použiť BLE majáky pri určovaní polohy objektov pre potreby indoorovej navigácie. BLE majáky sa stávajú dôležitou súčasťou IoT. Môžeme predpokladať, že tieto prostriedky budú skoro dostupné vo veľkých množstvách za veľmi rozumnú cenu. Budú sa používať aj pre iné účely. Preto sa naskytá otázka ich využitia aj v mobilnej robotike, nakoľko servisné a osobné roboty budú tiež veľmi dôležitou súčasťou IoT [16].

Vykonané experimenty potvrdzujú, že BLE majáky sú schopné zabezpečiť prijateľnú presnosť v rôznych prostrediach, kde sa nenachádza príliš veľa šumu alebo odrazov elektromagnetického žiarenia a taktiež aj presahujú isté minimálne rozmery. Vyšší počet zariadení vysielajúcich rádiové signály negatívne vplyva na presnosť meraní. Preto by sa ďalší výskum mohol zaoberať vývojom prostriedkov na spracovanie meraní a ich šumu, napr. adaptácia parametrov KF alebo inými prostriedkami pre prácu so šumom.

#### POĎAKOVANIE

Publikácia bola podporená projektom VEGA 1/0663/17 — Inteligentné kyber-fyzikálne systémy v heterogénnom prostredí s podporou IoE a cloudových služieb.

#### LITERATÚRA

- [1] F. Zafari, I. Papapanagiotou, and K. Christidis, "Micro-location for internet of things equipped smart buildings," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 1, pp. 96–112, 2016.

- [2] M. Kotaru, K. Joshi, D. Bharadia, and S. Katti, "SpotFi: Decimeter level localization using WiFi," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 45, no. 4, pp. 269–282, Aug. 2015.
- [3] R. Kanan and O. Elhassan, "A combined batteryless radio and wifi indoor positioning system," in *23rd International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)*, Sept 2015, pp. 101–107.
- [4] K. Agarwal and D. Sharma, "Wireless communication wibree (bluetooth low energy technology)," *International Journal of Electrical, Electronics and Computers*, vol. 2, no. 2, pp. 1–4, 2017.
- [5] H. Choi, H. Jin, and S. C. Kim, "RSS bias compensation in ble beacon based positioning system," in *Ninth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*, July 2017, pp. 494–497.
- [6] S. He and S.-H. G. Chan, "Wi-Fi fingerprint-based indoor positioning: Recent advances and comparisons," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, no. 1, pp. 466–490, 2016.
- [7] M. Mizmizi and L. Reggiani, "Binary fingerprinting-based indoor positioning systems," in *International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, Sept 2017, pp. 1–6.
- [8] C. Gomez, J. Oller, and J. Paradells, "Overview and evaluation of bluetooth low energy: An emerging low-power wireless technology," *Sensors*, vol. 12, no. 9, pp. 11 734–11 753, 2012.
- [9] K. Townsend, C. Cuffi, R. Davidson *et al.*, *Getting started with Bluetooth low energy: tools and techniques for low-power networking*. O'Reilly Media, Inc., 2014.
- [10] M. Terán, J. Aranda, H. Carrillo, D. Mendez, and C. Parra, "IoT-based system for indoor location using bluetooth low energy," in *IEEE Colombian Conference on Communications and Computing (COLCOM)*. IEEE, 2017, pp. 1–6.
- [11] G. Welch and G. Bishop, "An Introduction to the Kalman Filter: SIGGRAPH 2001 Course 8," in *Computer Graphics, Annual Conference on Computer Graphics & Interactive Techniques*, 2001, pp. 12–17.
- [12] N. A. Mahiddin, E. N. Madi, S. Dhalila, E. F. Hasan, S. Safie, and N. Safie, "User position detection in an indoor environment," *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, vol. 8, no. 5, pp. 303–312, 2013.
- [13] P. Manchanda, P. Manivannan, and M. Calis, "Analysis of indoor localization methods for commercial and military purposes." 10 2017.
- [14] C. Robotics. (2018, Apr.) Turtlebot 2: Mobile robot platform. Clearpath Robotics Inc. [Online]. Available: <https://www.clearpathrobotics.com/turtlebot-2-open-source-robot/>
- [15] Asus. (2018, Apr.) Asus Xtion Pro. Asus. [Online]. Available: [https://www.asus.com/3D-Sensor/Xtion\\_PRO/specifications/](https://www.asus.com/3D-Sensor/Xtion_PRO/specifications/)
- [16] P. Papcun, E. Kajáti, and I. Zolotová, "IoT and cloud technology in residential and business premises as ubiquitous computing," *International Journal of Internet of Things and Web Services*, vol. 2, pp. 96–105, 2017.

# Návrh a simulácia 2,45 GHz mikropásikových plátkových antén

<sup>1</sup>Peter ČECH, <sup>1</sup>Alena PIETRIKOVÁ

<sup>1</sup> Katedra technológií v elektronike, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

peter.cech@tuke.sk

**Abstrakt** — Táto práca prezentuje návrh mikropásikových plátkových (patch) antén pravouhlého tvaru napájaných prostredníctvom vsunutého mikropásikového vedenia. Antény sú navrhnuté na rôznych dielektrických substrátoch s rozdielnymi hodnotami relatívnej permitivity (FR4 laminát, LTCC keramika GreenTape™ 951 od firmy DuPont a RT/duroid 6010LM od firmy Rogers Corporation). Všetky antény boli navrhnuté pre frekvenciu 2,45 GHz, ktorá sa dnes široko využíva v oblasti modernej bezdrôtovej komunikácii (WiFi či Bluetooth). Výsledky simulácií boli vyhodnotené z pohľadu miniaturizácie antén. Pre dosiahnutie miniaturizácie boli použité dielektrické substráty s väčšou relatívnou permitivitou ( $\epsilon_r$ ). Kvôli eliminovaniu vplyvu hrúbky substrátu bola táto hodnota pre všetky uvažované substráty približne rovnaká. Simulácie a optimalizácia antén boli realizované v programe CST Microwave Studio. So vzrastajúcou relatívnou permitivitou substrátu bola dosiahnutá vyššia úroveň miniaturizácie antén, avšak na úkor šírky frekvenčného pásma. Tento problém je možné odstrániť prostredníctvom zväčšenia hrúbky substrátu. Týmto spôsobom je možné nasimulovať spomínaným programom návrh miniaturizovanej mikropásikovej plátkovej antény, ktorá poskytuje požadovanú šírku frekvenčného pásma, čím je možné ju využiť pre danú bezdrôtovú komunikačnú aplikáciu (v našom prípade WiFi pracujúce na frekvencii 2,45 GHz).

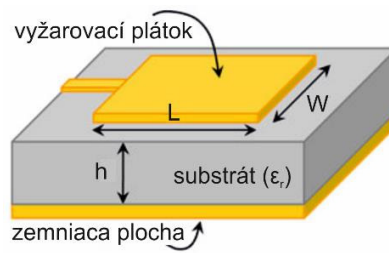
**Kľúčové slová** — mikropásiková plátková anténa, šírka frekvenčného pásma, CST Microwave Studio, WiFi.

## I. ÚVOD

Moderné elektronické zariadenia poskytujú čoraz viac bezdrôtových komunikačných služieb (WiFi, GSM, Bluetooth, NFC, GPS ...). Tento trend vedie k potrebe väčšieho počtu antén v rámci jedného zariadenia, ktoré zaberajú veľa priestoru na základnej doske plošných spojov (DPS). Elektrotechnológovia sa v súčasnosti zameriavajú na hľadanie nových jednoduchých a finančne nenáročných možností implementácie antén do elektronického zariadenia. Integrácia antény do elektronického puzdra (Antenna in Package - AiP) je moderný prístup pre dosiahnutie vyššej úrovne integrácie a ušetrenia priestoru na základnej DPS [1]. Pre tento účel je nevyhnutná miniaturizácia antény. Pre tieto účely poskytujú planárne a nízko profilové antény, ako napríklad mikropásikové antény vhodné konštrukčné riešenie [2]-[3]. Tieto antény poskytujú aj ďalšie výhody ako nízku hmotnosť, jednoduchosť návrhu a výroby, nízku cenu výroby a možnosť integrácie týchto antén s mikrovlnnými obvodmi [4]-[5]. Poznáme viacero typov mikropásikových antén, ako napríklad mikropásikové plátkové antény, mikropásikové štrbinové antény, mikropásikové antény s postupnou vlnou a mikropásikové dipólové antény. V tejto práci boli navrhované mikropásikové plátkové antény hlavne pre ich jednoduchosť návrhu (Obr. 1) [7]. Tieto antény pozostávajú z dielektrického substrátu, ktorý má na jednej strane umiestnenú presne definovanú zemnicu plochu a na druhej strane vyžarovací plátok, ktorý je definovaný šírkou  $W$  a dĺžkou  $L$  [6].

V súčasnosti sa výskum v oblasti bezdrôtovej komunikácie zaoberá aj využitím týchto antén, čoho dôkazom je aj množstvo článkov zameraných na túto problematiku [8]-[12]. Využívajú sa rôzne tvary vyžarovacích plôch či rôzne substráty pre dosiahnutie lepších vyžarovacích vlastností daných antén, ako napríklad zisk antény, šírka frekvenčného pásma, účinnosť vyžarovania ale taktiež je snahou aj miniaturizácia týchto antén. Je možné ich vyrobiť prostredníctvom klasickej DPS štandardne chemickým leptaním, alebo s využitím vhodných keramických či polymérnych substrátov pri použití vrstvomých technológií, napr. sieťotlačovej technológie [14] či technológie ink-jet printing [15].





Obr. 1 Názorná ukážka mikropásikovej plátkovej antény.

Pre návrh antény je potrebné poznať základné parametre ako pracovnú frekvenciu antény ( $f$ ), relatívnu permitivitu substrátu ( $\epsilon_r$ ) a hrúbku substrátu ( $h$ ). Zmenšenie rozmerov antény je možné dosiahnuť použitím substrátu s väčšou relatívnou permitivitou. Tá ale spôsobí zmenšenie šírky frekvenčného pásma, čo sa dá eliminovať pomocou zväčšenia hrúbky substrátu [17].

Frekvencia je jedným z najdôležitejších parametrov, ktorý najviac ovplyvňuje dĺžku antény. Pre účely tejto práce bola zvolená frekvencia 2,45 GHz, ktorá sa široko využíva v súčasnej bezdrôtovej komunikácii. Jednou z najznámejších a najpoužívanejších bezdrôtových sietí pracujúcich na tejto frekvencii je WiFi. Pre správnu funkciu WiFi komunikácie je potrebné zabezpečiť, aby komunikačné antény poskytovali šírku frekvenčného pásma aspoň 100 MHz pre pokrytie všetkých WiFi komunikačných kanálov [16].

Táto práca analyzuje možnosti použitia rôznych substrátov pre mikropásikové plátkové antény pracujúce na frekvencii 2,45 GHz (WiFi) s dôrazom na ich miniaturizáciu pri zachovaní požadovanej šírky frekvenčného pásma. Analýza parametrov bola realizovaná na podklade simulácií v programe CST Microwave Studio (CST MWS). Použité substráty majú rozdielne hodnoty relatívnej permitivity. Antény boli navrhované nielen z pohľadu ich veľkosti ale tiež s dôrazom na ich jednoduchosť výroby a možnosť ich následnej analýzy. Jedným z hlavných výsledkov simulácií je návrh miniaturizovanej mikropásikovej plátkovej antény, ktorá spĺňa požiadavky pre využitie vo WiFi bezdrôtovej komunikácii pracujúcej na frekvencii 2,45 GHz.

## II. CST MICROWAVE STUDIO AKO PROSTRIEDOK PRE NÁVRH MIKROVLNOVEJ ANTÉNY

Odsimulovanie a rozmerová optimalizácia navrhnutých antén je nevyhnutná pred ich samotnou výrobou. Existuje viacero simulačných programov určených pre elektromagnetické aplikácie. Medzi najpoužívanejšie patrí napríklad HFSS a CST Microwave Studio (CST MWS). Každý z týchto programov má svoje výhody aj nevýhody takže záleží na užívateľovi, ktorý mu viacej vyhovuje. CST MWS využíva pre svoj riešiteľ v časovej oblasti numerickú metódu určitých integrálov (Finite Integration Technique - FIT). CST MWS má v porovnaní s HFSS lepší riešiteľ v časovej oblasti. Ten si vo všeobecnosti vyžaduje menej operačnej pamäte ako riešiteľ vo frekvenčnej oblasti a taktiež je rýchlejší. HFSS využíva numerickú metódu konečných prvkov (Finite Element Method - FEM) pre jeho riešiteľ vo frekvenčnej oblasti, ktorý poskytuje presnejšie výsledky no pre návrh planárnych antén poskytujú oba programy približne rovnaké výsledky. Okrem toho má CST MWS jednoduššie užívateľské prostredie s množstvom preddefinovaných nastavení pre rôzne elektromagnetické štruktúry, čo značne uľahčuje a urýchľuje prácu. Kvôli týmto dôvodom bol pre účely tejto práce zvolený práve program CST MWS [13]-[21]. Pri práci s programom CST MWS bolo potrebné špecifikovať základné dielektrické a geometrické vlastnosti substrátov, na ktorých je plánovaná realizácia výroby týchto antén. Následne boli v programe antény nakreslené a odsimulované. Podľa výsledkov prvotných simulácií sa ďalej postupovalo optimalizáciou ich rozmerov pre získanie ich finálnych rozmerov a simulačných výsledkov. Tieto výsledky sú spracované a prezentované v kapitole IV.

## III. MATERIÁLY

Pre návrh antén boli použité tri rôzne substráty s odlišnými dielektrickými vlastnosťami ale s približne rovnakou hrúbkou ( $h$ ). Ich základné parametre sú v Tabuľke 1.

FR4 (Flame Retardant 4) je klasický sklom vystužený epoxidový laminát, ktorý je jedným z najvyužívanejších substrátov pre DPS v elektronike no pre frekvenčne náročnejšie aplikácie neposkytuje vhodné vlastnosti. Dôvodom sú jeho nestabilné dielektrické vlastnosti a pomerne veľké dielektrické straty (Tabuľka 1 -  $\text{tg}\delta$ ). Z tohto dôvodu výskumníci z vysokofrekvenčnej oblasti začali aplikovať dielektricky stabilnejšie a stratovo účinnejšie substráty, ako napríklad DPS od firmy Rogers (RT/duroid 6010LM) či LTCC keramiky. LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic – GreenTape 951 od firmy DuPont) je keramický kompozitný materiál na báze skla a  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a RT/duroid (RT/duroid 6010LM) je kompozitný substrát na báze PTFE



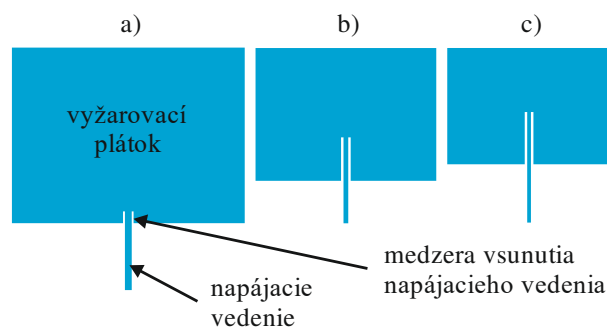
(polytetrafluóretylén = teflón) plneného keramikou. Pre aplikácie pracujúce v oblasti GHz (napr. mikropásikové antény) sú vyvíjané materiály, ktoré sú kompromisom medzi vysokou relatívnou permitivitou a nízkymi dielektrickými stratami. Preto sa pre účely tejto práce využili materiály ako LTCC ( $\epsilon_r = 7,8$ ) a RT/duroid ( $\epsilon_r = 10,2$ ). Ako vyplýva z Tabuľky 1, hrúbky uvedených substrátových materiálov sú približne rovnaké, pričom najnižšiu relatívnu permitivitu má substrát FR4 a najvyššiu relatívnu permitivitu má RT/duroid.

Tabuľka 1  
 Dielektrické vlastnosti použitých dielektrických substrátov [18]-[20]

| typ substrátu | hrúbka substrátu (mm) | relatívna permitivita - $\epsilon_r$ | stratový činiteľ - tg $\delta$ |
|---------------|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| FR4           | 0,56                  | 4,3                                  | 0,025                          |
| LTCC          | 0,64                  | 7,8                                  | 0,0015                         |
| RT/duroid     | 0,64                  | 10,2                                 | 0,0023                         |

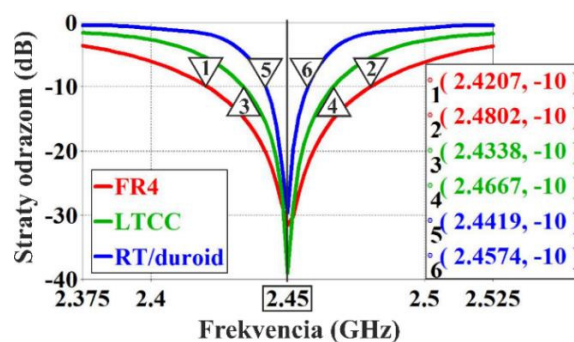
#### IV. VÝSLEDKY

Navrhnuté antény boli ladené na zvolenú frekvenciu (2,45 GHz) prostredníctvom optimalizácie dĺžky antény (parameter  $L$  na Obr. 1). Všetky navrhnuté antény a ich napájacie vedenia boli prispôsobené na rovnakú impedanciu ( $Z = 50 \Omega$ ) kvôli dosiahnutiu nízkych strát odrazom ( $s_{11}$ ). Impedancia napájacieho vedenia bola nastavená prostredníctvom optimalizácie jeho šírky (Obr. 2). Vstupná impedancia antény závisí na hĺbke vsunutia napájacieho vedenia do oblasti vyžarovacieho plátka antény. Finálne návrhy mikropásikových plátkových antén na báze rôznych substrátov sú znázornené na Obr. 2, z ktorého môžeme porovnať ich rozmery.



Obr. 2 Vzhľad a vzájomné porovnanie rozmerov navrhnutých mikropásikových plátkových antén na báze: a) FR4, b) LTCC, a c) RT/duroid

Navrhnutá anténa na báze FR4 (Obr. 2 a) bola zvolená ako referenčná. Jej rozmery sú zo všetkých navrhnutých antén najväčšie. Z Obr. 2 b) a Obr. 2 c) je možné pozorovať, že antény na báze LTCC a RT/duroidu sú rozmerovo menšie ako referenčná anténa. Návrh antén bol realizovaný použitím parametrov zobrazených v Tabuľke 1 (hrúbka substrátu, relatívna permitivita a stratový činiteľ).



Obr. 3 Frekvenčná závislosť strát odrazom ( $s_{11}$ ) pre navrhnuté antény na báze rôznych substrátov (FR4, LTCC, a RT/duroid).

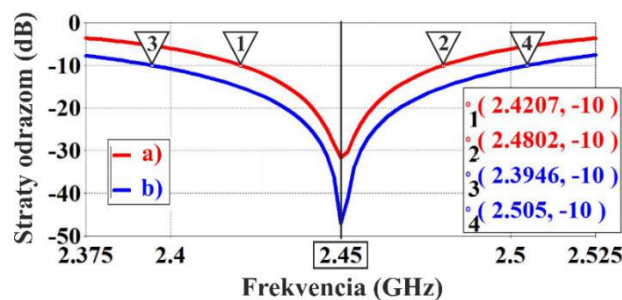
Väčšia hodnota relatívnej permitivity síce umožňuje návrh antén s menšími rozmermi no na druhej strane spôsobuje väčšie straty prostredníctvom povrchového vlnenia a taktiež zredukovanie šírky frekvenčného pásma. Zníženie hrúbky substrátu taktiež spôsobuje zníženie

vyžarovacej účinnosti a šírky frekvenčného pásma [6]. Na Obr. 3 je zobrazená frekvenčná závislosť strát odrazom ( $s_{11}$ ) pre navrhnuté antény na báze rôznych substrátov. V Tabuľke 2 sú prezentované výsledky simulácií navrhnutých mikropásikových plátkových antén na báze spomínaných troch rôznych substrátov.

Tabuľka 2  
 Výsledky simulácií navrhnutých mikropásikových plátkových antén na báze rôznych substrátov: FR4, LTCC, a RT/duroid.

| typ substrátu | straty odrazom – $s_{11}$ (dB) | šírka frekvenčného pásma – $\Delta f$ (MHz) | veľkosť plátku ( $\text{cm}^2$ ) | zredukovanie rozmerov plátku (%) |
|---------------|--------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|
| FR4           | -31,55                         | 59,5  | 10,64                            | referenčná                       |
| LTCC          | -38,95                         | 32,9  | 6,24                             | - 41,35                          |
| RT/duroid     | -29,6                          | 15,5  | 4,95                             | - 53,48                          |

Z Obr. 3 a Tabuľky 2 môžeme vidieť, že pre WiFi aplikácie preukázala anténa na báze FR4 z pohľadu šírky frekvenčného pásma najlepšie vlastnosti. Avšak z pohľadu miniaturizácie antény sa ukázal substrát RT/duroid ako najlepší, vďaka dosiahnutému najväčšiemu zredukovaniu rozmerov antény (-53 % v porovnaní s referenčnou anténou). Na druhej strane, žiadna z navrhnutých antén nespĺnila minimálne požiadavky na šírku frekvenčného pásma pre WiFi ( $\Delta f = 100$  MHz). Preto sa nasledujúca simulácia zamerala na zväčšenie šírky frekvenčného pásma pri zachovaní miniatúrnych rozmerov antén dosiahnutých v prvej simulácii. V prvej simulácii bola hrúbka substrátov približne rovnaká. Hrúbka substrátu zohráva taktiež podstatnú úlohu, keďže ovplyvňuje šírku frekvenčného pásma. Z tohto dôvodu bola v ďalšej simulácii optimalizovaná práve hrúbka substrátu.



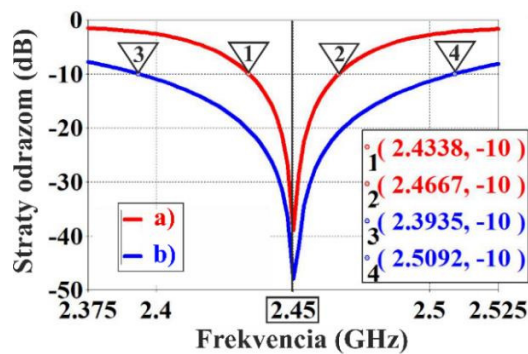
Obr. 4 Frekvenčná závislosť strát odrazom ( $s_{11}$ ) pre anténu na báze FR4 s rôznymi hrúbkami substrátu: a)  $h = 0,56$  mm a b)  $h = 1,55$  mm.

Na Obr. 4 je zobrazená frekvenčná závislosť strát odrazom ( $s_{11}$ ) pre anténu na báze FR4 substrátu s rôznymi hrúbkami substrátu. Červená krivka zobrazuje výsledok z prvej simulácie pri hrúbke substrátu 0,56 mm. Modrá krivka zobrazuje výsledok z druhej simulácie, kde bola hrúbka substrátu optimalizovaná na novú hodnotu ( $h = 1,55$  mm) pre zabezpečenie požadovanej šírky frekvenčného pásma (100 MHz). V oboch prípadoch boli antény ladené na frekvenciu 2,45 GHz a dosahovali veľmi nízke straty odrazom (Tabuľka 3).

Tabuľka 3  
 Straty odrazom a šírka frekvenčného pásma pre antén na báze FR4, LTCC, a RT/duroid s rôznymi hrúbkami substrátu.

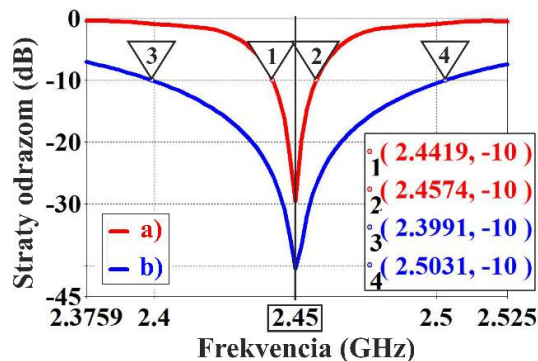
| typ substrátu | hrúbka substrátu – $h$ (mm) | straty odrazom – $s_{11}$ (dB) | šírka frekvenčného pásma – $\Delta f$ (MHz) |
|---------------|-----------------------------|--------------------------------|---|
| FR4           | 0,56                        | -31,55                         | 59,5  |
|               | 1,55                        | -47,03                         | 110,4                                       |
| LTCC          | 0,64                        | -38,95                         | 32,9  |
|               | 2,375                       | -47,95                         | 115,7                                       |
| RT/duroid     | 0,64                        | -29,6                          | 15,5  |
|               | 2,5                         | -40,43                         | 104   |

Na Obr. 5 je zobrazená frekvenčná závislosť strát odrazom ( $s_{11}$ ) pre anténu na báze LTCC substrátu s rôznymi hrúbkami substrátu. Červená krivka (a) znázorňuje výsledok prvej simulácie kedy hrúbka substrátu bola 0,64 mm a modrá krivka (b) znázorňuje výsledok druhej simulácie kde bola hrúbka substrátu optimalizovaná na novú hodnotu ( $h = 2,375$  mm) pre zabezpečenie požadovanej šírky frekvenčného pásma (100 MHz). V oboch prípadoch boli antény naladené na frekvenciu 2,45 GHz a dosahovali veľmi nízke straty odrazom (Tabuľka 3).



Obr. 5 Frekvenčná závislosť strát odrazom ( $s_{11}$ ) pre anténu na báze LTCC s rôznymi hrúbkami substrátu:  
 a)  $h = 0,64$  mm a b)  $h = 2,375$  mm.

Na Obr. 6 je znázornená frekvenčná závislosť strát odrazom ( $s_{11}$ ) pre anténu na báze RT/duroid substrátu s rôznymi hrúbkami substrátu. Červená krivka (a) znázorňuje výsledok prvej simulácie, kedy hrúbka substrátu bola 0,64 mm a modrá krivka (b) znázorňuje výsledok druhej simulácie, kde bola hrúbka substrátu optimalizovaná na novú hodnotu ( $h = 2,5$  mm) pre zabezpečenie požadovanej šírky frekvenčného pásma (100 MHz). V oboch prípadoch boli antény naladené na frekvenciu 2,45 GHz a dosahovali veľmi nízke straty odrazom (Tabuľka 3).



Obr. 6 Frekvenčná závislosť strát odrazom ( $s_{11}$ ) pre anténu na báze RT/duroid s rôznymi hrúbkami substrátu:  
 a)  $h = 0,64$  mm a b)  $h = 2,5$  mm.

Z Tabuľky 3 môžeme vidieť, že šírka frekvenčného pásma sa s rastúcou hrúbkou substrátu zväčšuje. Cieľom druhej simulácie bolo dosiahnuť šírku frekvenčného pásma aspoň 100 MHz pre pokrytie všetkých komunikačných pásiem WiFi. Pre tento účel bolo oproti prvej simulácii v prípade FR4 antény potrebné 2,77-násobné zväčšenie hrúbky substrátu, pre LTCC anténu 3,71-násobné zväčšenie hrúbky substrátu a v prípade RT/duroid antény 3,91-násobne zväčšenie hrúbky substrátu. Môžeme vidieť, že pre RT/duroid anténu bolo potrebné najväčšie zväčšenie hrúbky substrátu pre dosiahnutie požadovanej šírky frekvenčného pásma. Po zmene hrúbky substrátu bolo pri simulovaní neustále potrebné upraviť šírku napájacieho vedenia a jeho hĺbku vsunutia do plátku. Optimalizáciou hrúbky substrátu sa jemne zredukovala dĺžka navrhnutých antén, no vo všeobecnosti boli rozmery antén takmer rovnaké ako pri prvej simulácii.

Použitím materiálu RT/duroid boli dosiahnuté najlepšie výsledky z pohľadu miniaturizácie antény. Po následnej optimalizácii hrúbky tohto substrátu bol získaný návrh výrazne miniaturizovanej mikropásikovej plátkovej antény pracujúcej na frekvencii 2,45 GHz so šírkou frekvenčného pásma 104 MHz. Rozmer vyžarovacieho plátku tejto antény je menej ako  $5 \text{ cm}^2$  a hrúbka substrátu je iba 2,5 mm. Vďaka tomu je táto anténa vhodná pre miniaturizované WiFi aplikácie pracujúce na frekvencii 2,45 GHz.

## V. ZÁVER

Táto práca sa zaoberá návrhom a simuláciami mikropásikových plátkových antén na báze rôznych substrátov s rozdielnymi hodnotami relatívnej permitivity, napájanými mikropásikovým vsunutým vedením. V úvode simulácií sme sa zamerali na návrh antén na báze rôznych substrátov a to najmä z pohľadu miniaturizácie. Z výsledku simulácie môžeme vidieť, že referenčná anténa na báze FR4 s najmenšou hodnotou relatívnej permitivity ( $\epsilon_r = 4,3$ ) je rozmerovo zo všetkých navrhnutých antén najväčšia ( $37,6 \times 28,3$  mm). Naopak, anténa na báze RT/duroid s najvyššou relatívnou permitivitou ( $\epsilon_r = 10,2$ ) je rozmerovo najmenšia ( $26,4 \times 18,75$  mm). V porovnaní s

referenčnou anténou tu došlo k zredukovaní rozmerov vyžarovacej plochy antény až o 53,48 %. Na základe tohto výsledku sa z uvažovaných materiálov javí RT/duroid ako najvhodnejší materiál pre účely miniaturizácie antén. Z pohľadu šírky frekvenčného pásma dosiahol tento materiál najhoršie výsledky z pomedzi všetkých uvažovaných substrátov ( $\Delta f = 15,5$  MHz). Naopak, v prípade FR4 substrátu bola dosiahnutá najväčšia šírka frekvenčného pásma (59,5 MHz) zo všetkých uvažovaných substrátov.

Všetky navrhované antény boli naladené na frekvenciu 2,45 GHz, na ktorej funguje jedna z najširšie používaných bezdrôtových komunikačných sietí, WiFi. Tá si vyžaduje antény poskytujúce šírku frekvenčného pásma aspoň 100 MHz. Pre splnenie tejto požiadavky sa druhá simulácia zameriavala na možné zväčšenie šírky frekvenčného pásma prostredníctvom optimalizovanej hrúbky substrátu. Z výsledku tejto simulácie môžeme vidieť, že pre zväčšenie šírky frekvenčného pásma je potrebné hrúbku substrátu taktiež zväčšiť. Na počiatku bola hrúbka v prípade najmenej antény na báze RT/duroid 0,64 mm. Na základe optimalizácie sme dospeli k záveru, že zväčšením hrúbky na 2,5 mm, bolo možné dosiahnuť požadovanú šírku pásma.

Simulácie preukázali, že s rastúcou hodnotou relatívnej permitivity je možné zredukovať rozmery antény avšak na úkor jej šírky frekvenčného pásma. Tento problém je možné eliminovať použitím substrátu s väčšou hrúbkou. Touto cestou sa dá dosiahnuť miniaturizácia antény pri zachovaní požadovanej šírky frekvenčného pásma pre možnosť využitia antény pre WiFi.

#### LITERATÚRA

- [1] J. Gamec, J. Turán, "Mikrovlňová technika 1", Košice: TU, 2005, pp. 207.
- [2] A. Pietriková, T. Rovenský, J. Gamec, "Design of narrow-band 2.4 - 2.5 GHz notch filter using various materials", ISSE 2013 : 36th International Spring Seminar on Electronics Technology : Automotive Electronics : Alba Iulia, May 2013, pp. 242-246.
- [3] D. Kocur, J. Gamec, M. Gamcová, J. Fortes, D. Urdzík, "UWB bezdrôtové senzorové siete", Košice: TU, 2012, pp. 120.
- [4] M. Krchňák, J. Labun, J. Gamec, P. Kurdel, M. Češkovič, "Potential Uses of a New Type of Antenna in Aviation", The 13. International Scientific Conference, 2018, pp. 82-86.
- [5] J. Schneider, J. Gamec, "Overview of UWB Low-Profile Planar Antennas", Acta Electrotechnica et Informatica, Vol. 14, No. 2, 2014, pp. 55-59.
- [6] C. A. Balanis, "Antenna Theory - Analysis and Design", 3th ed. Wiley, 2005, pp. 811-812.
- [7] Em: talk, "Microstrip Patch Antenna Calculator", [online], <<http://www.emtalk.com/mpacalc.php>>.
- [8] S. P. Singh, A. Kumar, V. K. Singh, Sagar. "A broadband wide beamwidth circularly polarized microstrip patch antenna with conformal radome for high-speed airborne communication", 2017 International Conference on Innovations in Electronics, Signal Processing and Communication (IESC), April 2017, pp. 155-158.
- [9] J. Saini, S.K. Agarwal, "Design a single band microstrip patch antenna at 60 GHz millimeter wave for 5G application", 2017 International Conference on Computer, Communications and Electronics (Comptelx), Júl 2017, pp. 227-230.
- [10] P. Mevada, A. K. Sharma, S. Hulshrestha, S. Chakrabarty, R. Jyoti, "Frequency Agile Monolithic Inset Fed Microstrip Patch Antenna Based on Barium Strontium Titanate (Ba<sub>x</sub>Sr<sub>1-x</sub>TiO<sub>3</sub>) Ferroelectric Substrate", 2017 IEEE MTT-S International Microwave and RF Conference (IMaRC), December 2017, pp. 50-53.
- [11] K. Sambasiva Rao, D. R. Jahagirdar, D. Ramakrishna, "Compact broadband asymmetric slit Circularly Polarized Microstrip Patch Antenna for GPS and GLONASS applications", 2017 IEEE International Conference on Antenna Innovations & Modern Technologies for Ground, Aircraft and Satellite Applications (iAIM) , November 2017.
- [12] P. K. Rao, KM J. Singh, R. Mishra, "A Circular Shaped Microstrip patch Antenna for Bluetooth/Wi-Fi/UWB/X-band Applications", 2018 International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control (PEEIC), April 2018, pp. 638-641.
- [13] Dassault Systemes, "CST - Computer Simulation Technology", [online], <<https://www.cst.com/products/cstmws/technicalspecification>>.
- [14] Aalah-Eddine Adami, D. Zhu, Y. Li, E. Mellios, B. H. Stark, S. Beeby, "A 2.45 GHz rectenna screen-printed on polycotton for on-body RF power transfer and harvesting", 2015 IEEE Wireless Power Transfer Conference (WPTC), Máj 2015.
- [15] W. T. Li, Y. Q. Hei, P. M. Grubb, X.-W. Shi, R. T. Chen, "Inkjet Printing of Wideband Stacked Microstrip Patch Array Antenna on Ultrathin Flexible Substrates", IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, Vol. 8, No. 9, September 2018, pp. 1695-1701.
- [16] Electronicsnotes, "Wi-Fi Channels, Frequencies, Bands & Bandwidths", [online], <<https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/wifi-ieee-802-11/channels-frequencies-bands-bandwidth.php>>.
- [17] J. Gamec, J. Turán, "Mikrovlňová technika 2", Košice: TU, pp. 280, 2005.
- [18] Rogers Corporation, "RT/duroid® 6006/6010LM - Data Sheet", [online], <<http://www.rogerscorp.com/documents/612/index.aspx>>.
- [19] DuPont™ GreenTape™, "low temperature co-fired ceramic system - Design and Layout Guidelines", [online], <[https://www.dupont.com/content/dam/dupont/products-and-services/electronic-and-electrical-materials/documents/prodlib/GreenTape\\_Design\\_Layout\\_Guidelines.pdf](https://www.dupont.com/content/dam/dupont/products-and-services/electronic-and-electrical-materials/documents/prodlib/GreenTape_Design_Layout_Guidelines.pdf)>.
- [20] C.I.F, "FR4 Data Sheet", [online], <<https://www.farnell.com/datasheets/1644697.pdf>>.
- [21] Ozen, "ANSYS HFSS Features", [online], <<https://www.ozeninc.com/ansys-hfss/hfss-features/#toggle-id-1>>.

# Nástroj pre zisťovanie konfigurácie počítača

<sup>1</sup>Dávid TÓTH, <sup>2</sup>Slavomír ŠIMOŇÁK

Katedra počítačov a informatiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup>david.toth.2@student.tuke.sk, <sup>2</sup>slavomir.simonak@tuke.sk

*Abstrakt* — Článok je venovaný analýze možností pre získavanie relevantných informácií o konfigurácii počítača a návrhu programu pre zisťovanie a prezentáciu získaných informácií o konfigurácii počítača s operačným systémom Windows. Na získanie týchto informácií má väčšina programovacích jazykov dostupné vlastné knižnice pre každú skupinu parametrov alebo komponentov zvlášť. Za najvhodnejší prostriedok pre získavanie informácií o procesore počítača považujeme inštrukciu CPUID, ktorá je implementovaná priamo výrobcami procesora, takže všetky informácie, ktoré nám inštrukcia poskytne sú dôveryhodné. S touto inštrukciou sa komunikuje prostredníctvom programovacieho jazyka assembler, ktorý dokáže priamo využiť inštrukciu CPUID. Týmto spôsobom síce získame detailné informácie o procesore, potrebujeme však získať ešte informácie o ostatných komponentoch počítača. Na tento účel sa dajú využiť informácie poskytované cez rozhranie WMI (Windows Management Instrumentation), ktoré využíva samotný operačný systém Windows a poskytuje veľké množstvo informácií o takmer každom komponente.

*Kľúčové slová* — Assembler, C++, inštrukcia CPUID, informácie WMI, programovanie, konfigurácia počítača

## I. ÚVOD

V tomto článku sú zhrnuté výsledky získané riešením bakalárskej práce [1], ktorá bola zameraná na tvorbu nástroja pre zisťovanie konfigurácie počítača s využitím nízko úrovňových programovacích jazykov, so zameraním na operačný systém Windows. Pre získavanie informácií o konfigurácii počítača bude využitá inštrukcia CPUID [2] a informácie získané prostredníctvom rozhrania WMI [3].

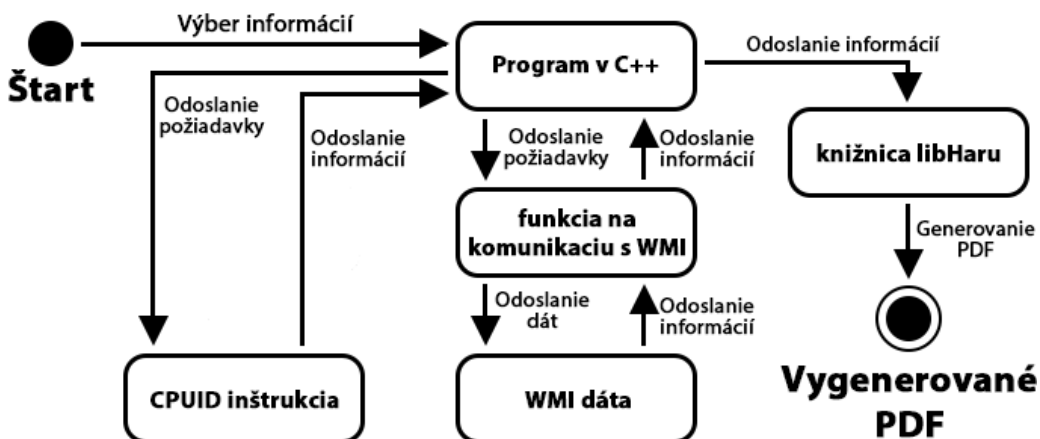
## II. ANALÝZA POSTUPOV A PROSTRIEDKOV PRE ZÍSKANIE POTREBNÝCH INFORMACÍÍ

Ak chceme vytvoriť vlastný program pre zisťovanie konfigurácie počítača, je potrebné si na začiatku vybrať, v akom programovacom jazyku budeme daný program vytvárať. Daný problém by bolo možné riešiť v takmer ľubovoľnom programovacom jazyku, nakoľko mnohé z jazykov majú vlastné knižnice s funkciami, ktoré by bolo možné využiť. Z tohto hľadiska by sme si jazyk mohli vybrať podľa toho, v ktorom sa nám lepšie pracuje. Programovací jazyk si však môžeme vybrať aj podľa toho, aké prostriedky a nástroje pre riešenie daného problému poskytuje. Ak chceme vytvoriť daný program a nezáleží nám na tom, že nebudeme rozumieť ako ten program bude konkrétne pracovať, tak môžeme použiť ľubovoľný vysoko úrovňový programovací jazyk. V takom prípade je však možné, že nebudeme schopní získať všetky informácie, ktoré budeme požadovať, pretože program nebude schopný si ich od procesora vyžiadať. Ak chceme pochopiť aj to, ako bude program získavať tieto informácie počas vykonávania, je výhodné použiť nízko úrovňový programovací jazyk. Takýmito jazykmi sú napríklad jazyky C/C++ a assembler.

## III. NÁVRH RIEŠENIA

Program bude implementovaný v jazyku C++ pre operačný systém Windows. Jeho implementácia je znázornená na Obr. 1. Po jeho spustení sa otvorí okno s možnosťou výberu informácií, ktoré má program získať. Na získavanie informácií o procesore sa využije časť programu vytvorená s využitím jazyka assembler a inštrukcie CPUID. Na získanie ďalších informácií sa využije programovací jazyk C++, pomocou ktorého sa budú získavať informácie cez rozhranie WMI. Informácie, ktoré program získa cez inštrukciu CPUID a WMI sa zapíšu do

PDF súboru, ktorý sa po vytvorení aj otvorí. Na vytvorenie PDF súboru sa môže použiť napríklad open source knižnica libHaru [4], ktorá funguje na viacerých platformách.



Obr. 1. Diagram programu pre zisťovanie konfigurácie počítača

Na obr. 1 je znázornený diagram implementácie programu pre zisťovanie konfigurácie počítača. Na začiatku program dostane informácie o tom, čo má zisťovať. Pre získavanie informácií o procesore je využívaná inštrukcia CPUID. Pre získavanie ďalších informácií o konfigurácii počítača je využívané rozhranie WMI. Získané údaje sú následne s využitím knižnice libHaru zapísané do PDF súboru.

#### IV. ZÍSKAVANIE INFORMÁCIÍ PROSTREDNÍCTVOM INŠTRUKCIE CPUID

Pri využití jazyka assembler má programátor priamy prístup k hardvérovým prostriedkom daného systému a preto dokáže priamo využiť inštrukciu CPUID, ktorá je implementovaná výrobcami procesora, takže všetky informácie, ktoré nám inštrukcia CPUID poskytne sú dôveryhodné. Prostredníctvom inštrukcie CPUID získame informácie pre procesory Intel [5] a AMD [6]. Táto inštrukcia je vlastne "prídavnou inštrukciou procesora", ktorá umožňuje softvérovej architektúre typu x86 získať detaily o procesore ako je jeho typ a doplnky typu MMX, SSE a podobne. Inštrukcia je podporovaná len na procesoroch Intel Pentium, AMD 486 a novších, čo sú všetky procesory typu x86 približne od roku 1993. Táto inštrukcia podporuje dva druhy funkcií. Prvá funkcia vracia základné informácie o procesore a druhá rozšírené. Inštrukcia CPUID funguje tak, že podľa hodnoty, ktorú vložíme do registra EAX a v niektorých prípadoch aj do registra ECX, sa naplnia registre EAX, EBX, ECX a EDX údajmi o procesore nášho počítača. Tieto údaje sa budú líšiť od toho, akú hodnotu do registra EAX vložíme. Ak doň vložíme hodnoty od 00H po hodnotu menšiu ako je 80000000H (v hexadecimálnej sústave), budeme dostávať základné informácie o procesore. Od hodnoty 80000000H vyššie budeme dostávať rozšírené informácie. Ak chceme zistiť najvyššiu podporovanú hodnotu štandardných informácií, použijeme hodnotu 0H a v registri EAX nám inštrukcia vráti maximálnu podporovanú hodnotu. Pre zistenie najvyššej podporovanej rozšírenej informácie do registra EAX vložíme hodnotu 80000000H.

Ukážka získaných informácií využitím inštrukcie CPUID na procesore AMD Ryzen 5 1600:

```

EAX = 0H
    Registre EBX,EDX a ECX
Výrobca CPU: AuthenticAMD
EAX = 1H
Register EAX

Krokovanie: 1
Základný model: 1
Základná rodina: 15
Rozšírený model: 0
Rozšírená rodina: 8
Register EBX

ID značky: 0
    
```

Veľkosť CLFlush: 8  
 Počet logických procesorov: 12  
 LocalApicID: 8

#### Register ECX

Inštrukcia SSE3: Yes  
 Inštrukcia PCLMULQDQ: Yes  
 Inštrukcia MONITOR/MWAIT: Yes  
 Inštrukcie SSSE3: Yes  
 Inštrukcia FM: Yes  
 Inštrukcia CMPXCHG16B: Yes  
 Inštrukcia SSE4.1: Yes  
 Inštrukcia SSE4.2: Yes  
 Inštrukcia POPCNT: Yes  
 Inštrukcia AES: Yes  
 Inštrukcia XSAVE: Yes  
 Povolenie XSAVE: Yes  
 Povolenie AVX: Yes  
 Povolenie F16C: Yes  
 Register EDX  
 Podpora FPU: Yes  
 Podpora VME: Yes  
 Podpora DE: Yes  
 Podpora PSE: Yes  
 Podpora TSC: Yes  
 Podpora MSR: Yes  
 Podpora PAE: Yes  
 Podpora MCE: Yes  
 Podpora CMPXCHG8B: Yes  
 Podpora APIC: Yes  
 Podpora SysEnterSysExit: Yes  
 Podpora MTRR: Yes  
 Podpora PGE: Yes  
 Podpora MCA: Yes  
 Podpora CMOV: Yes  
 Podpora PAT: Yes  
 Podpora PSE36: Yes  
 Inštrukcia CLFSH: Yes  
 Inštrukcie MMX: Yes  
 Podpora FXSR: Yes  
 Podpora SSE: Yes  
 Podpora SSE2: Yes  
 Podpora HTT: Yes

Inštrukcia CPUID na procesoroch Intel a AMD pracuje rovnakým spôsobom, ale na získanie určitej informácie sa pri oboch procesoroch zadáva iná hodnota alebo danú informáciu inštrukcia ani neposkytuje, pretože procesory od oboch výrobcov využívajú nie len rovnaké, ale aj odlišné funkcie. Niektoré odlišnosti sú znázornené v tabuľke 1.

Tabuľka 1  
 Ukážka rozdielov medzi informáciami inštrukcie CPUID pre Intel a AMD

| EAX hodnota / registre | Intel informácia                             | AMD informácia                                   |
|------------------------|--|--|
| 00H / EAX              | Najväčšia štandardná funkcia                 | Najväčšia štandardná funkcia                     |
| 00H / E[B,C,D]X        | ID výrobcu                                   | ID výrobcu                                       |
| 01H / EAX              | krokovanie, model, rodina                    | rodina, model, krokovanie                        |
| 01H / EBX              | ID procesora, CLFLUSH, počet jadier, APIC ID | ID procesora, CLFlush, počet jadier, LocalApicID |
| 01H / ECX              | SSE3, PCLMULQDQ, DTES64                      | SSE3, MONITOR/MWAIT, FMA                         |
| 01H / EDX              | FPU, VME, DE, PSE                            | FPU x87, VME, DE, PSE                            |
| 02H / E[A,B,C,D]X      | Cache a TLB                                  | Rezervované                                      |
| 04H / EAX              | typ Cache, úroveň cache                      | Rezervované                                      |



|           |                       |                       |
|-----------|-----------------------|-----------------------|
| 04H / ECX | počet sad             | Rezervované           |
| 05H / EAX | Min. veľkosť monitora | Min. veľkosť monitora |
| 05H / EBX | Max. veľkosť monitora | Max. veľkosť monitora |
| 05H / ECX | Mwait                 | EMX, IBE              |
| 06H / EAX | Intel turbo boost     | EffFreq               |
| 07H / EBX | FsGsBase, BMII, HLE   | BMI                   |
| 07H / ECX | AVX512_VBMI           | Rezervované           |

## V. ZÍSKAVANIE INFORMÁCIÍ PROSTREDNÍCTVOM WMI

Rozhranie WMI (Windows Management Instrumentation) využíva aj samotný operačný systém Windows a poskytuje veľké množstvo informácií o takmer každom komponente. Microsoft má na svojej stránke [7] názorný kód ako získať informácie využitím WMI a C++. Na začiatok je potrebné inicializovať COM (Component Object Model), ktorý využijeme na komunikáciu s WMI, získame počiatočný lokátor do WMI pomocou rozhrania IWbemLocator a potom sa pomocou tohto rozhrania napojíme na WMI. Cez rozhranie IWbemServices vytvárame požiadavky pre WMI a následne vyberáme potrebné údaje. V požiadavke zadávame názov triedy, ktorá reprezentuje určitý komponent a podľa toho nám požiadavka vráti požadované informácie. Tieto triedy sa nazývajú Computer System Hardware Classes [8] (hardvérové triedy počítačového systému), rozdeľujú hardvér do deviatich kategórií a v každej z nich budú zodpovedné triedy, ktoré obsahujú určité informácie o danom komponente.

Kategórie hardvérových tried:

- Triedy chladiacich zariadení - chladiace zariadenia, ktoré predstavujú prístrojové ventilátory, teplotné sondy a chladiace zariadenia.
- Triedy vstupných zariadení - vstupne zariadenia, ktoré predstavujú klávesnice a ukazovacie zariadenia.
- Triedy veľkokapacitných úložísk - veľkokapacitné úložiska predstavujú úložné zariadenia, ako sú napríklad pevné disky, jednotky CD-ROM a páskové jednotky.
- Triedy matičnej dosky, ovládačov a portov - základné dosky, radiče a porty, ktoré predstavujú systémové zariadenia, ale napríklad aj systémová pamäť, vyrovnávacia pamäť a ovládače.
- Triedy sieťových zariadení - sieťové zariadenia, ktoré predstavujú radič sieťového rozhrania, jeho konfigurácie a nastavenia.
- Triedy napájania - napájacie zdroje, batérie a udalosti súvisiace s týmito zariadeniami.
- Triedy tlačiarne - tlačiarne, konfigurácie tlačiarň a tlačové úlohy.
- Triedy telekomunikácií - "obyčajné staré telefónne" modemové zariadenia a ich súvisiace sériové pripojenia.
- Triedy videa a monitora - monitory, grafické karty a súvisiace nastavenia.

Tento spôsob získavania informácií funguje na operačných systémoch Windows Vista a novších.

Ukážka informácií získaných s využitím WMI na procesore AMD Ryzen 5 1600:

### PROCESOR

Názov: AMD Ryzen 5 1600 Six-Core Processor  
Výrobca: AuthenticAMD  
Architektúra: x64  
Rodina: AMD Ryzen(TM) Family  
Iný popis rodiny:  
Štítok zariadenia: Unknown  
Unikátne ID:  
ID zariadenia PNP:  
Typ procesora: Central Processor  
Úloha: CPU  
Sériové číslo: Unknown  
Číslo súčiastky: Unknown  
Počet jadier: 6  
Počet využívaných jadier: 6  
Počet logických procesorov: 12

Počet vlákien: 12  
Krokovanie: 1  
Taktovacia rýchlosť: 3200 MHz  
Maximálna taktovacia rýchlosť: 3200 MHz  
Percento zataženia: 4%  
Úroveň: 23  
Stav CPU: CPU Enabled  
Veľkosť L2 Cache: 3072 kilobytes  
Rýchlosť L2 Cache: 0 MHz  
Veľkosť L3 Cache: 16384 kilobytes  
Rýchlosť L3 Cache: 0 MHz  
Označenie zásuvky: AM4  
Popis chyby:  
Verzia: Model 1, Stepping 1  
Stav: OK

## VI. ZÁVER

Vďaka dostupnosti inštrukcie CPUID máme k dispozícii všetky informácie o našom procesore, pretože informácie, ktoré nám poskytuje sú získavané od samotného procesora a sú vždy aktuálne. Je však potrebné aktualizovať aj program, aby ich správne zaznamenával. Presnosť zisťovania podpory jednotlivých funkcií pri jednotlivých procesoroch rovnakej značky nemôže byť vyššia, pretože ak výrobca pridá do inštrukcie CPUID zisťovanie podpory novej funkcie, ostatné informácie sa nemenia a ostávajú na pôvodnom mieste. Identifikácia novej funkcie sa priradí na doteraz nevyužívaný bit alebo skupinu bitov. Určité rozdiely sa môžu vyskytnúť pri zisťovaní dostupných funkcií procesorov od rôznych výrobcov, pretože o tom, ktorý bit indikuje dostupnosť danej funkcie rozhodujú výrobcovia procesorov. Aj procesory od rôznych výrobcov majú mnoho funkcií spoločných, avšak majú aj svoje vlastné, ktoré sú jedinečné, pretože ich iná firma vo svojich procesoroch nevyužíva.

Rozhranie WMI je implementované priamo spoločnosťou Microsoft pre operačný systém Windows. Je to štandardná technológia pre získavanie informácií o danom prostredí, čo znamená, že poskytuje široké spektrum informácií nie len o komponentoch systému, ale aj o systéme samotnom, či zariadeniach pripojených do systému. Využívanie WMI podporuje aj programovací jazyk C++, C#, alebo dokonca Windows PowerShell.

WMI nie len poskytuje informácie o systéme, jeho nastaveniach a zariadeniach napojených na počítač s operačným systémom Windows, ale poskytuje aj prístup k nastaveniam systému a ich zmenu. WMI zároveň dokáže zisťovať informácie nie len lokálne, ale aj na diaľku a to nám dáva možnosť napríklad kontrolovať stav viacerých vzdialených zariadení so systémom Windows z jedného lokálneho zariadenia. Pre získavanie tepelných informácií alebo informácií ohľadom napájania by bolo možné využiť rozhranie ACPI [9], ktoré dokáže napájanie dokonca aj nastavovať. Napríklad, ak sa spustí hibernačný mód, systém využije rozhranie ACPI na zmenu nastavenia napájania.

## POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] D. Tóth, bakalárska práca: Nástroj pre zisťovanie konfigurácie počítača, FEI TUKE, 2019.
- [2] L. Curwood, The CPUID Guide, 2003, Dostupné z: <http://www.paradicesoftware.com/specs/cpuid/>.
- [3] Microsoft, Windows Management Instrumentation, 2018, Dostupné z: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/wmisdk/wmi-start-page>.
- [4] A. Dovgal, T. Kanno. Haru free PDF library, 2006, Dostupné z: <http://libharu.sourceforge.net/index.html>.
- [5] Intel, Intel Processor Identification and the CPUID Instruction, 2009, Dostupné z: <https://www.microbe.cz/docs/CPUID.pdf>.
- [6] AMD, CPUID Specification, 2010, Dostupné tiež z: <https://www.amd.com/system/files/TechDocs/25481.pdf>.
- [7] Microsoft, Example: Getting WMI Data from the Local Computer, 2018, Dostupné z: <https://docs.microsoft.com/sk-sk/windows/desktop/WmiSdk/example--getting-wmi-data-from-the-local-computer>.
- [8] Microsoft, Computer System Hardware Classes, 2018, Dostupné z: <https://docs.microsoft.com/sk-sk/windows/desktop/CIMWin32Prov/computer-system-hardware-classes>.
- [9] Hewlett-Packard, Advanced Configuration and Power Interface, 2014, Dostupné z: <http://www.acpi.info>.

# Cryptocurrency Analysis Using Intelligent Methods

<sup>1</sup>Lukáš DOMBROVSKÝ, <sup>2</sup>Ján VAŠČÁK

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

<sup>1</sup>lukas.dombrovsky@student.tuke.sk, <sup>2</sup>jan.vascak@tuke.sk

**Abstract** — This paper deals with volatility of cryptocurrency markets. Firstly, frequency of significant price movements was researched on historical data in multiple time periods and at different percentages of growth and decline. For each growth and decrease in each time period, the most appropriate percentage of growth was selected. Next, candle patterns that happened before these significant price movements were found out and chosen the most frequented ones. Then we did evaluation of how the market can be described by these patterns. In the last part of the paper patterns are applied to a model that is part of a web application serving as a trading decision support system.

**Keywords** — candle patterns, cryptocurrency, data analysis, prediction, technical analysis, web application

## I. INTRODUCTION

The exponential growth of Bitcoin and other cryptocurrencies is a phenomenon that has attracted considerable attention in recent years. This market exists only a short period of time (Bitcoin was created in 2009, but it did not enter the market until 2013) and has not yet been extensively studied. The key issue that needs to be analyzed is whether the cryptocurrencies' dynamic behavior is predictable. This would contradict the efficient market hypothesis that says price movements are random [1], [2].

The latest study, Persistence in the cryptocurrency market [3], conducted a more comprehensive analysis, suggesting that the market is showing persistence and it changes over time. Such predictability is evidence of market inefficiency. This would mean that trading strategies using trends can generate abnormal profits in these markets [3].

Trading on cryptocurrency exchanges is now available globally for many people. Many traders use technical market analysis and create trading strategies. However, these trading strategies mostly use technical indicators, that have been based on completely different markets, where the market movement was far from being volatile. In addition, before there were fewer traders on exchange markets and information was not available so much. A different approach to creating a trading strategy would be to explore typical patterns of price development in the cryptocurrency market in recent years. Next, patterns are processed into a model that determines whether the market currently contain a frequently occurring pattern. Model is part of a web application serving as a trading decision support system.

## II. PROBLEM DESCRIPTION OF CRYPTOCURRENCIES

There are several thousand cryptocurrency pairs, but we used only 85 cryptocurrency pairs that were available through the API. We downloaded historical data with a period of four hours, which we converted to the required blocks when analyzing larger periods [5]. Historical data for the USDT and BTC cryptocurrency pairs contained 460487 entries.

The best source for obtaining historical cryptocurrency data is the free API from Poloniex. The API allows automatic download of data by parsing URL code, which is used in this work. The downloaded data look like in Fig. 1.

```

JSON  raw Data  Headers
Save  Copy  Collapse All
0:
  date:      1546297200
  high:      0.12356014
  low:       0.12356014
  open:      0.12356014
  close:     0.12356014
  volume:    0
  quoteVolume: 0
  weightedAverage: 0.12356014
1:  {...}
2:  {...}
-  {...}

```

Fig. 1 Input data from Poloniex API.

In the experimental part, the R language and R Studio were used. The first task was to calculate the number of significant movements in different percentage classes at different time periods. Using the Plotly package, the results of the first experiment were visualized on the graphs. The second experiment found the most frequent candle patterns based on the results of the first experiment. The main goal was to incorporate the results of the second experiment into a web application that uses AngularJs, HTML, CSS, JavaScript and applies these results to real-time analysis.

### III. PROPOSAL OF A WEB-BASED APPLICATION

The goal of the application, Fig. 2, is to display the current forecast for the next four hours for all available USDT and BTC cryptocurrency pairs available on the Poloniex API. Each time the application is run, it first sets the variable containing all cryptocurrency pair combinations, the variable containing the candle patterns obtained from the experiments and the number of their historical occurrences, the variable containing the current timestamp and the scope variable forecastObj. The AngularJs variable of the controller that can be used in the view to generate the table, which contains forecast, Fig. 3.



Fig. 2 Web application – main page.

The major part of the prediction algorithm for each cryptocurrency pair downloads the current market data, assigns a candle type to each row of data using the findCandleType function. Then we obtain the current candle sequence in the market. The algorithm compares this sequence with

the candle pattern list for both decline and growth. If a match for a known candle pattern is found for some cryptocurrency pair, the prediction is stored in the scope of the variable forecastObj. The pattern strength is still 100% until the same pattern occurs in both growth and declines. Then the resulting signal will be the more ratio between growth and decline pattern frequency. In Fig. 3, the final depiction of the forecast is shown. Fig. 4 shows the overall flowchart of the proposed algorithm.

**THIS IS CURRENT CRYPTOCURRENCY FORECAST ON POLONIEX FOR NEXT 4H**

| Pair      | Forecast | Strength |
|-----------|----------|----------|
| USDT_BAT  | ?        | -        |
| USDT_BNT  | ?        | -        |
| USDT_BTC  | ?        | -        |
| USDT_DASH | ?        | -        |
| USDT_DOGE | rise     | 61%      |

Fig. 3 Forecast.

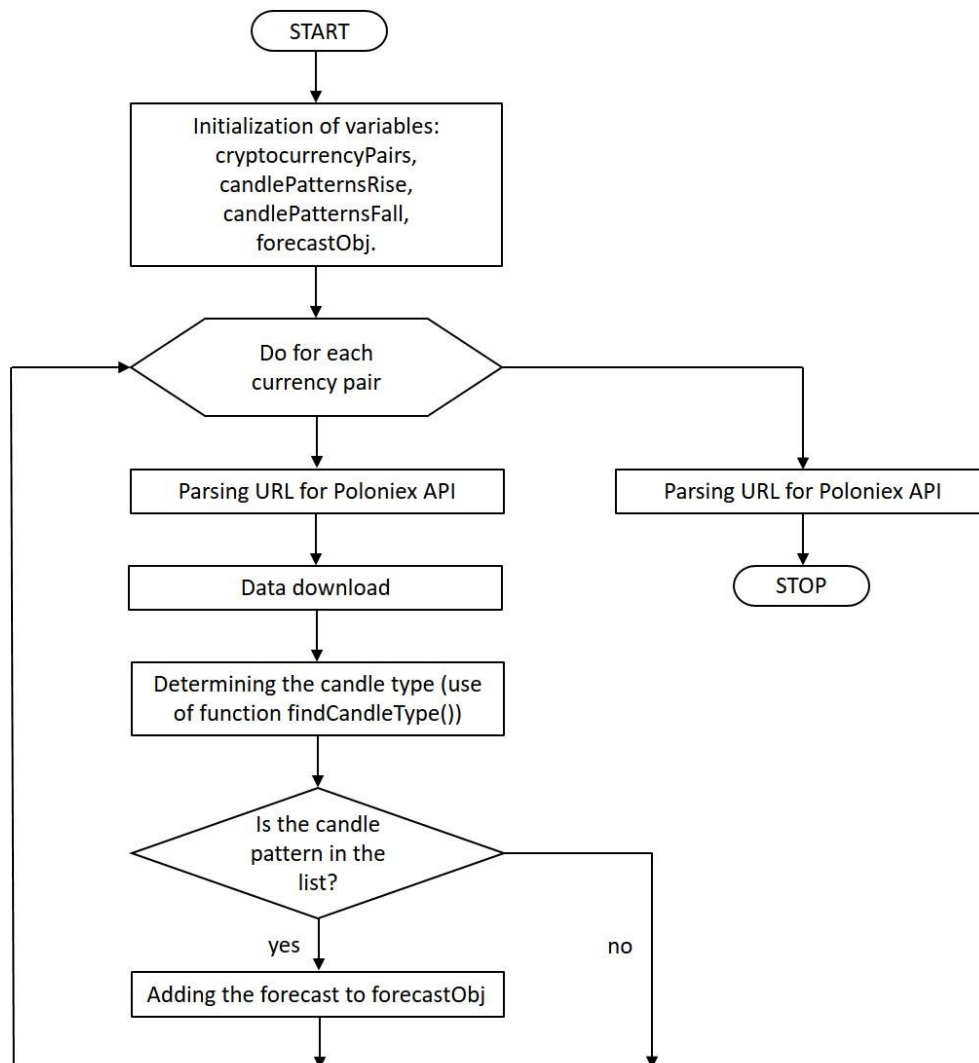


Fig. 4 The overall flowchart of the proposed algorithm.

#### IV. EXPERIMENTS AND THEIR EVALUATION

##### A. Experiments with significant price movements

In experiments of significant price movements, their relative occurrences were found not to be very different for USDT, BTC pairs and their joined data. The more signals for shorter periods were required, so the lowest percentage class of movements (10-50%) was selected for the 4-hour and 1-day periods. For longer periods, fewer signals would suffice, but with cryptocurrencies all movements often occur simultaneously. Currencies are affected by Bitcoin and Ethereum (two currencies with the highest capitalization). This means that everything is moving, or nothing is moving at all. So approximately the same frequency of signals was maintained even at higher periods. For a 1-week period, 50-100%, for 1-month 100-150% and at 3-month 150-200% percentage class were selected.

##### B. Experiments with candle patterns

Candle pattern experiments revealed from the ratio of the occurrence of the ten most numerous candle patterns and the total number of significant growths or decreases in a given time period that, with a significantly larger ratio 4-hour period candle patterns describe the behavior of the market better. That is why other experiments were performed on this period. The candle shadows length calculation was changed, considering into account the 20-candle average of previous candles. The resulting 4-hour test showed that 50 most frequent candle patterns represent only 5% of all candle patterns that may have occurred on the market but cover an average of 53% of significant movements.

#### V. CONCLUSION

In conclusion, at the 4-hour period more than half of the significant price movements are described by only 50 candle patterns. This means that the cryptocurrency market can be predicted on short periods with the analysis of candle patterns. For longer periods, the ten most frequent patterns already covered only about 10% of significant price movements. Thus, technical analysis is no longer sufficient to describe market behavior and other factors, such as news, play a role there. In these longer periods, fundamental market analysis would certainly help.

#### ACKNOWLEDGMENT

This work is financially supported by the Scientific Grant Agency of MŠVVaŠ SR and SAV by project VEGA No. 1/0663/17 - Intelligent Cyber-Physical Systems in Heterogeneous Environment with Support of IoE and Cloud-Based Services.

#### REFERENCES

- [1] Malkiel, Burton G.: Efficient market hypothesis. Finance. Palgrave Macmillan, London, 1989.
- [2] Greene, Myron T., and Bruce D. Fielitz: Long-term dependence in common stock returns, *Journal of Financial Economics*, Vol. 4, No. 3, (1977), pp. 339-349.
- [3] Caporale, Guglielmo Maria, Luis Gil-Alana, and Alex Plastun: Persistence in the cryptocurrency market, *Journal Research in International Business and Finance*, Vol. 46, (2018), pp. 141-148.
- [4] Caporale, Guglielmo Maria, et al.: Long memory in the Ukrainian stock market and financial crises, *Journal of Economics and Finance*, Vol. 40, No. 2, (2016), pp. 235-257.
- [5] Zheng, Zibin, et al.: An overview of blockchain technology: Architecture, consensus, and future trends, In: *The 2017 IEEE International Congress on Big Data*, (2017), pp. 557-564.

# Možnosti využitia obnoviteľných zdrojov energie v domácnostiach

<sup>1</sup>Peter SUČKO, <sup>2</sup>Marek PAVLÍK

<sup>1</sup> Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika.

<sup>1</sup>peter.sucko@student.tuke.sk, <sup>2</sup>marek.pavlik@tuke.sk

**Abstrakt**— Slovenská republika ako aj ďalšie členské štáty EÚ sa zaviazali k využívaniu obnoviteľných zdrojov energie. Každý štát by mal splniť percentuálny podiel z výroby v obnoviteľných zdrojov energie (OZE). Cieľom Slovenskej republiky je dosiahnuť do roku 2020 podiel výroby elektrickej energie z OZE 20%. Výsledkom tejto potreby bola podpora výroby energie z OZE aj pre domácnosti. Tento príspevok sa venuje analýze využívania OZE v domácnostiach s tarifou D1. Využitie energie z OZE je v tomto príspevku realizované pomocou simulácií v programe HOMER.

**Kľúčové slová**—obnoviteľné zdroje energie, grid-on systém, homer pro

## I. ÚVOD

Na území Slovenskej republiky je snaha dosiahnuť čo najväčší podiel obnoviteľných zdrojov energie a to rôznymi formami podpory zo strany štátu k výrobcovi energie, či už ide o podporu v oblasti výroby elektrickej energie alebo tepla. Využívanie obnoviteľných energií v domácnostiach sa v poslednom období rozmáha viac, ako kedykoľvek predtým. Je to spôsobené tým, že štát podporuje výrobu energie z malých obnoviteľných zdrojov pomocou programov ako je napr. zelená domácnosť. Malými obnoviteľnými zdrojmi energie môže domácnosť dosiahnuť minimálnu závislosť na energiách z distribučnej elektrickej siete alebo verejného rozvodu tepla. Podpora pomôže domácnosti pri finančne náročnom obstarávaní týchto zdrojov, ktoré sú charakteristické vysokými investičnými nákladmi. Okrem štátu podporujú využívanie obnoviteľných zdrojov energie aj distribučné sústavy, či už je to výkupnou cenou za prebytok vyrobenej energie alebo cenou za spotrebovanú energiu z obnoviteľných zdrojov [1][2].

V dnešnej dobe energia, ktorú spotrebujeme napr. na teplo, elektrinu alebo palivá do motorových vozidiel pochádza najmä z fosilných palív ako je ropa, uhlie a zemný plyn. Takéto palivá vznikali milióny rokov pod zemským povrchom rozkladom rôznych rastlín a živočíchov. Produkcia fosilných palív v súčasnej dobe mnohonásobne prevyšuje ich prirodzenú tvorbu, preto sú fosilne palivá považované za neobnoviteľne zdroje energie. Podľa štatistik o svetovej energii z roku 2015 sú celkové globálne rezervy z fosilných palív nasledovné: 892 miliárd ton uhlia, 186 biliónov metrov kubických zemného plynu, 2683 miliárd hektolitrov ropy. Z pohľadu množstva sa to môže zdať ako dostatočné množstvo, ale pri súčasnej produkcii nám vystačí uhlie na 113 rokov, zásoby zemného plynu sa minú už v roku 2069 a ropa vydrží do roku 2067. Tieto prognózy môže ovplyvniť veľmi veľa faktorov, ale hlavným problémom je to, že ich nemôžeme čerpať do nekonečna. Obmedzené množstvo fosilných palív nie je jediným problémom pri ich produkcii. Pri spaľovaní dochádza k poškodzovaniu životného prostredia[1][3].

## II. OBNOVITEĽNÉ ZDROJE ENERGIE PRE DOMÁCNOSTI

Podpora obnoviteľných zdrojov je vykonávaná hlavne za účelom zníženia emisií skleníkových plynov a CO<sub>2</sub> a je úzko spätá so Smernicou 2009/28/EC Európskeho parlamentu a Európskej rady, ktorá nadväzuje na Kjótsky protokol [3][4].

Vedúce postavenie v podpore OZE má EÚ. Vlastní až 40% patentov na technológie v tejto oblasti. Ak nepočítame vodnú energiu, tak EÚ v roku 2012 malo skoro polovičný (44%) podiel na výrobe energii z OZE vo svete.



V roku 2007 bolo v Európskom parlamente prijaté ustanovenie, podľa ktorého chce dosiahnuť do roku 2020: [1][3][5]

- 20% zníženie emisií skleníkových plynov do roku 2020 v porovnaní s rokom 1990,
- zvýšiť energetickú účinnosť tak, aby sa do roku 2020 znížila plánovaná výška energetickej spotreby o 20%,
- 20% podiel obnoviteľných zdrojov energie na konečnej energetickej spotrebe EÚ do roku 2020 a 10% podiel bio palív v spotrebe pohonných hmôt do roku 2020.

Členské štáty EÚ si dali aj ďalší cieľ, kde podiel obnoviteľných zdrojov energie na hrubej domácej spotrebe v roku 2030 mal byť na úrovni 27%. Od roku 2004 sa značne zvyšuje podiel OZE v členských krajinách EÚ. Najväčší podiel OZE v roku 2014 zaznamenali Švédsko (52,6%), Litva (38,7%), Fínsko (38,7%), Rakúsko (33,1%) a Dánsko (29,2%). Najmenší podiel na využívaní OZE malo Luxembursko (4,5%), Malta (4,7%), Holandsko (5,5%) a Veľká Británia (7%). Slovensko malo v roku 2004 podiel 6,4% a do roku 2014 zvýšili podiel OZE na 11,6%. Cieľom našej krajiny je dosiahnuť do roku 2020 podiel vo výške 20%.

Tarifá je časové obdobie, pre ktoré platí cenník za činnú elektrickú prácu. Tarify sa rozdeľujú podľa časových pásiem na: [1][3][5]

- nízku tarifu (NT),
- vysokú tarifu (VT),
- špičkovú tarifu (ŠT).

Tarify sa rozdeľujú aj do časových pásiem, kde sú rozdelené na hodiny počas dňa, víkendové dni, pracovné dni alebo podľa ročného obdobia (zima, leto).

Spoločnosť VSD, a.s. rozdeľuje odberateľov podľa distribučnej sadzby. Pre domácnosti sa sadzby (tarify) rozdeľujú na:

- **D1:** Jednopásmová sadzba (jednotarif) pre odberné miesta s nižšou spotrebou elektriny,
- **D2:** Jednopásmová sadzba (jednotarif) pre odberné miesta s vyššou spotrebou elektriny,
- **D3:** Dvoj pásmová sadzba (dvojtarif) pre odberné miesta s platnosťou NT bez operatívneho riadenia,
- **D4:** Dvoj pásmová sadzba (dvojtarif) pre odberné miesta s operatívnym riadením doby platnosti nízkej tarify,
- **D5:** Dvoj pásmová sadzba (dvojtarif) pre odberné miesta s operatívnym riadením doby platnosti nízkej tarify s elektrickým priamo výhrevným vykurovaním,
- **D6:** Dvoj pásmová sadzba (dvojtarif) pre odberné miesta s tepelným čerpadlom a s operatívnym riadením doby platnosti NT.

Jednotarifné sadzby D1 a D2 sú určené pre odberné miesta s obvyklými elektrickými spotrebičmi, ktoré nemajú elektrické vykurovanie ani elektrický ohrev vody (záhrady, garáže, chaty, byty a rodinné domy).

Dvojtarifné sadzby D3 a D4 sú vhodné pre odberné miesta s elektrickými spotrebičmi, ktorých odber elektriny je možné presunúť do časového pásma platnosti nízkej tarify – ide najmä o odberné miesta s elektrickými akumuláčnými spotrebičmi. Pri týchto sadzbách sa odporúča zabezpečenie blokovania elektrických spotrebičov proti ich zapnutiu v čase platnosti vysokej tarify.

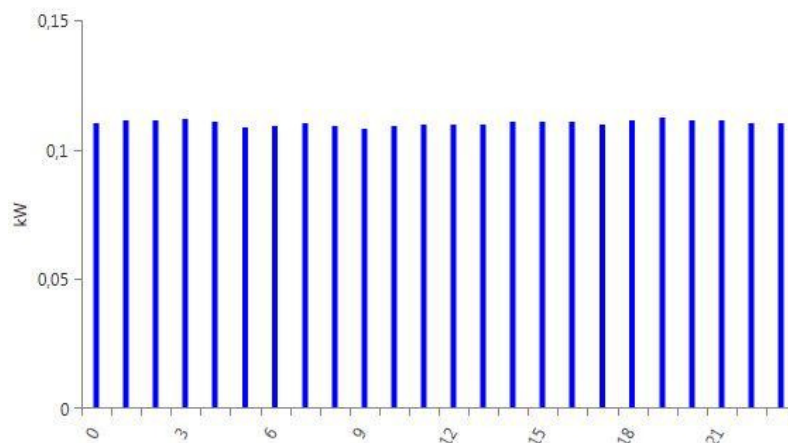
Dvojtarifné sadzby D5 sa odporúčajú pre plne elektrifikovanú domácnosť s elektrickými priamo výhrevnými spotrebičmi na vykurovanie a prípravu TUV, kde sa na varenie a pre ostatné účely používa výhradne elektrina.

Dvojtarifná sadzba D6 je určená pre odberné miesta, ktoré využívajú elektrinu pre tepelné čerpadlo. Pásmo nízkej tarify je platné 22 hodín denne.

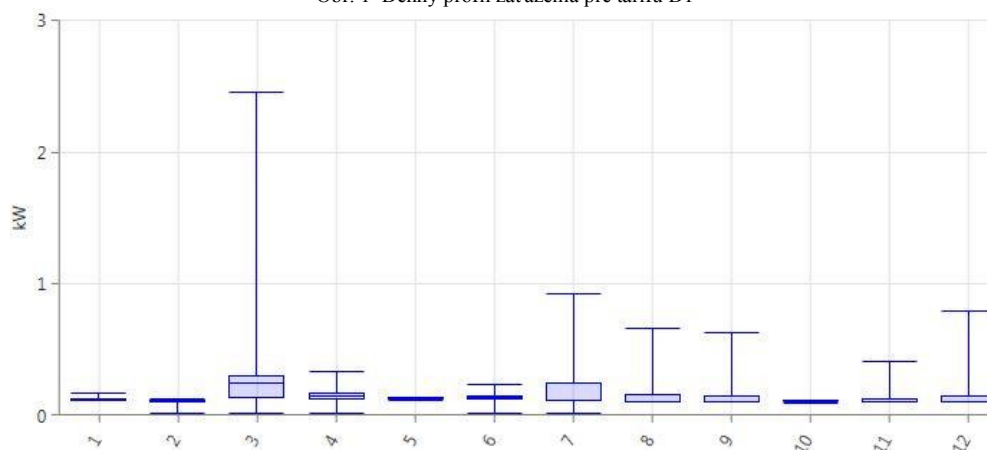
### III. ANALÝZA EFEKTÍVNEHO VYUŽITIA OBNOVITEĽNÝCH ZDROJOV ENERGIE PRE TARIFU D1

Na Obr. 1, 2 a 3 je grafický zobrazený denný, mesačný a ročný profil záťaže pre tarifu D1. Priemerná denná spotreba pre záťaž tarify D1 je 3,05 kWh/deň, priemerný odoberaný výkon je 0,13 kW a špičkový výkon je 2,45 kW.

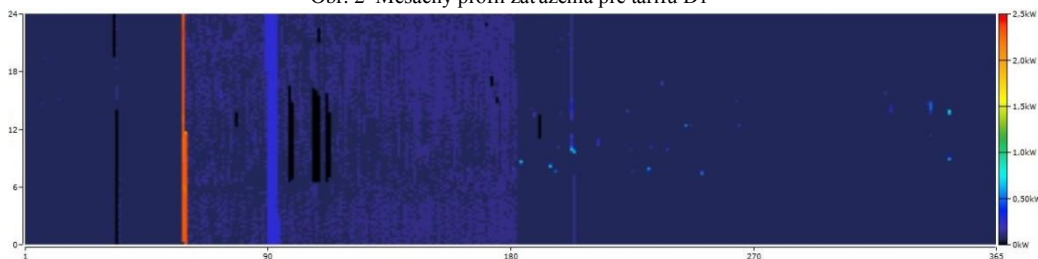
Na Obr. 4 je zobrazený celkový model systému na výrobu elektrickej energie použitý v analýze, ktorý sa skladá zo siete, malej vodnej elektrárne (MVE), veternej turbíny AC, veternej turbíny DC, konvertora, fotovoltického systému a troch druhov batérii.



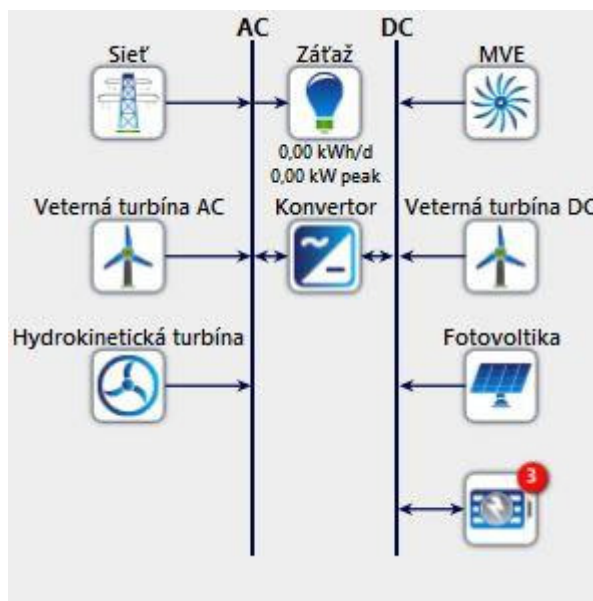
Obr. 1 Denný profil zaťaženia pre tarifu D1



Obr. 2 Mesačný profil zaťaženia pre tarifu D1



Obr. 3 Ročný profil zaťaženia pre tarifu D1



Obr. 4 Schéma zapojenia simulačného modelu pre analýzu využitia obnoviteľných zdrojov energie pre domácnosť

V Tab. 1 sa nachádza konfigurácia systému pre analýzu tarify D1, kde vyplnené bunky predstavujú počet, resp. veľkosť inštalovaného výkonu jednotlivých komponentov použitých v konfigurácii. Prázdne bunky prezentujú, že komponent nebol použitý. Konfigurácie sú zoradené od najnižších nákladov na životný cyklus systému, ktoré sú zobrazené v Tab. 2. To, či je záťaž pripojená/nepripojená k distribučnej sústave reprezentuje označenie On/Off v riadku sieť. Ak sa v stĺpci reprezentujúcom konfiguráciu systému nenachádzajú žiadne čísla iba označenie On, znamená to, že je záťaž pripojená len k distribučnej sústave.

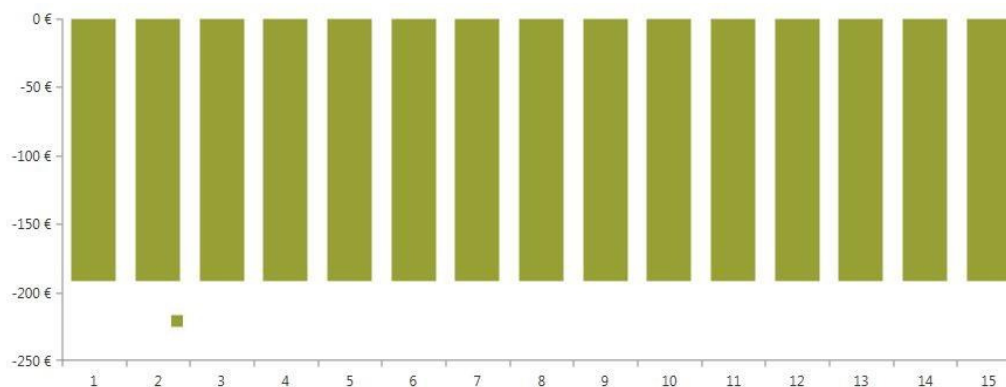
Z tabuliek Tab. 1 a Tab. vyplýva, že najvýhodnejšou konfiguráciou pre tarifu D1 je pripojenie záťaže na sieť bez OZE. Cena na životný cyklus systému (NPC) je 3 380 €, čo je o 175 € menej ako v poradí druhá konfigurácia, kde je použitý fotovoltaický systém. Na Obr. 5 sú zobrazené celkové ročné náklady po dobu životnosti systému za prvých 15 rokov, ktoré sú za jednotlivé roky konštantné., tj. 191,59 €/rok . Zobrazené sú iba prevádzkové náklady, keďže konfigurácia č.1 sa skladá iba zo siete a záťaže. Na Obr. 6 je zobrazená priemerná mesačná elektrická produkcia pre konfiguráciu č.1. Celková spotreba pre túto tarifu je 1 113 kWh/rok.

Tabuľka 1  
 Architektúra systému pre analýzu tarify D1

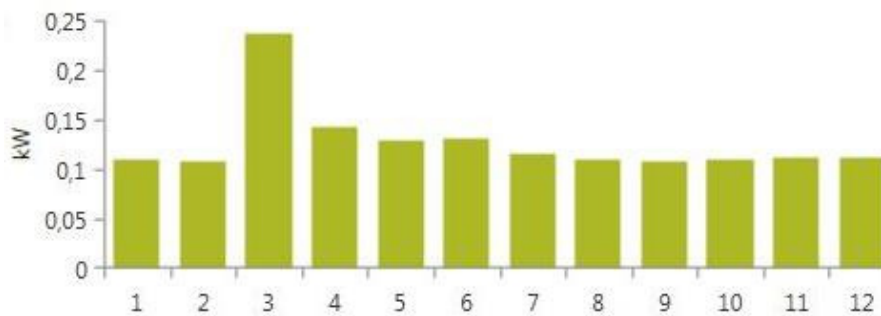
| Zdroj energie/Číslo konfigurácie | 1  | 2    | 3  | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|----------------------------------|----|------|----|------|------|------|------|------|------|------|
| Fotovoltaika (kW)                |    | 9,72 |    | 9,72 | 9,72 | 9,72 | 9,72 | 9,72 | 9,72 | 9,72 |
| Veterná turbína DC (ks)          |    |      |    |      |      | 1    |      |      | 1    | 1    |
| Veterná turbína AC (ks)          |    |      | 1  |      | 1    |      |      | 1    |      | 1    |
| Batéria ABB (ks)                 |    |      |    |      |      |      |      |      |      |      |
| Batéria Hoppecke (ks)            |    |      |    |      |      |      | 6    |      |      |      |
| Batéria Rolls/Surrette (ks)      |    |      |    | 3    |      |      |      | 3    | 3    |      |
| Sieť                             | On | On   | On | On   | On   | On   | On   | On   | On   | On   |
| MVE (kW)                         |    |      |    |      |      |      |      |      |      |      |
| Hydrokinetická turbína (ks)      |    |      |    |      |      |      |      |      |      |      |
| Konvertor (kW)                   |    | 8,2  |    | 8,2  | 8,2  | 8,2  | 8,2  | 8,2  | 8,2  | 8,2  |

Tabuľka 2  
 Cenová tabuľka pre analýzu tarify D1

| Číslo konfigurácie | NPC (€) | COE (€/kWh) | Prevádzkové náklady (€/rok) | Investičné náklady(€) | Podiel OZE (%) |
|--------------------|---------|-------------|-----------------------------|-----------------------|----------------|
| 1                  | 3 380   | 0,1722      | 192                         | 0                     | 0,00           |
| 2                  | 3 555   | 0,0185      | -575                        | 13 690                | 94,56          |
| 3                  | 6 498   | 0,1901      | 45                          | 5 700                 | 69,95          |
| 4                  | 6 513   | 0,0360      | -611                        | 17 290                | 99,45          |
| 5                  | 6 852   | 0,0323      | -711                        | 19 390                | 97,07          |
| 6                  | 6 956   | 0,0311      | -770                        | 20 540                | 97,44          |
| 7                  | 10 016  | 0,0552      | -616                        | 20 878                | 99,60          |
| 8                  | 10 093  | 0,0491      | -731                        | 22 990                | 99,57          |
| 9                  | 10 227  | 0,0470      | -789                        | 24 140                | 99,62          |
| 10                 | 10 573  | 0,0428      | -888                        | 26 240                | 97,92          |



Obr. 5 Ročné náklady na konfiguráciu č.1 pre tarifu D1 za 15 rokov prevádzky systému



Obr. 6 Priemerná mesačná elektrická produkcia konfigurácie č. 1 pre tarifu D1

Po optimalizácii v programe Homer Pro bolo potrebné prepočítať NPC s uvažovaním príspevku za spotrebovanú energiu z OZE. Predstavuje to sumu 0,04 €/kWh. Pri tarife D1 bola spotrebovaná energia z OZE pri konfigurácii č.2 pomocou fotovoltického systému 519 kWh/rok. Táto spotreba predstavuje zníženie prevádzkových nákladov o cca. 21 €/rok. Celková suma NPC sa zmenší z 3 555 € na 3 244 €. Z toho vyplýva, že systém konfigurácie č.2 je výhodnejší ako pripojenie spotreby len na distribučnú sieť (konfigurácia č.1) a dôjde k úspore 137 € za obdobie pätnástich rokov fungovania systému. Táto úspora predstavuje 4,05 % z nákladov na životný cyklus konfigurácie sieť-záťaž pri tarife D1.

#### IV. ZÁVER

Tento príspevok sa venuje problematike využívania obnoviteľných zdrojov energie v domácnostiach. Vzhľadom na to, že je to za posledné roky značne diskutovaná téma, má význam sa jej venovať. V súčasnosti pri čoraz väčšom rozmachu využívania obnoviteľných zdrojov energie sa stále rieši návratnosť pomerne veľkých investičných nákladov týchto systémov, resp. úsporu oproti klasickému pripojeniu do distribučnej sústavy. Z tabuliek Tab. 1 a Tab. 2 vyplýva, že najvýhodnejšou konfiguráciou pre tarifu D1 je pripojenie záťaže na sieť bez OZE. Cena na životný cyklus systému (NPC) je 3 380 €, čo je o 175 € menej ako v poradí druhá konfigurácia, kde je použitý fotovoltický systém. Je preto potrebné si pre uvažovaním využívania OZE v domácnosti uvedomiť, či dosiahne domácnosť potrebnú návratnosť investície.

#### POĎAKOVANIE

Túto prácu podporila Vedecká grantová agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied grantom VEGA č. 1/0372/18.

Táto práca vznikla vďaka podpore udeľovania grantu FEI FEI-2018-54 Vplyv materiálov na prienik elektromagnetického poľa.

#### LITERATÚRA

- [1] Úrad pre reguláciu sieťových odvetví: Porovnanie podpory OZE a výkupných cien elektriny vyrobenej z OZE v okolitých krajinách [online]. Martin: URSO, 2016. [2017-06-09]. Dostupné na internete: <<http://www.urso.gov.sk/?q=Informa%C4%8Dn%C3%BD%20servis/Elektroenergetika>>.
- [2] Slovenská inovačná a energetická agentúra: Zelená domácnostiam [online]. Bratislava: SIEA, 2018. [2018-01-20]. Dostupné na internete: <<http://zelenadomacnostiam.sk/>>.
- [3] M. Kolcun, J. Džmura, M. Mešter a M. Pavlík, Elektrárne, 1. Vyd, Košice, 2017, 202 s., ISBN 978-80-553-3119-5.
- [4] Slovenská inovačná a energetická agentúra: Výhody a obmedzenia zariadení na využívanie OZE podporovaných v rámci projektu Zelená domácnostiam [online]. Bratislava: SIEA, 2018. [2018-01-21]. Dostupné na internete: <<http://www.siea.sk/podporovane-zariadenia/#>>>.
- [5] M Pavlík a M. Kolcun, Predikcia ceny elektriny na burze PXE použitím RSI a MACD indikátorov, 2014, In Energetika, Vol. 64, no. 5, s. 279 – 281, ISSN 0375-8842.

# Framework for COR model for particles trajectory simulations in the Earth magnetosphere

<sup>1</sup>Daniel Gecášek, <sup>2</sup>Pavol Bobík, <sup>3</sup>Ján Genčí

<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 Cosmic Physics, Institute of Experimental Physics SAV Košice, Slovak Republic

<sup>3</sup>Department of Computers and Informatics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>daniel.gecasek@student.tuke.sk, <sup>2</sup>bobik@saske.sk, <sup>3</sup>jan.genci@tuke.sk

**Abstract** – This work was focused on implementation of automation and management tool for cosmic ray related calculations. We prepared two versions of computation time optimization based on the simulation's start rigidity estimation. To shorten time needed for simulation of data for deduction of formula for start rigidity estimation we added new model that calculate trajectories only till first allowed trajectory. We also implemented various visualizations for example visualization of single cosmic ray trajectory in Earth's magnetosphere.

**Keywords** – IGRF, magnetosphere, Tsyganenko 1996, Tsyganenko 2005

## I. INTRODUCTION

Cosmic rays are particles coming from space to Earth's surface. To reach Earth's surface, they must first travel through the heliosphere to 1AU and then through the magnetosphere and atmosphere [1]. We simulated the passage of cosmic rays, more specifically protons, through Earth's magnetosphere. We solved Lorentz equation describing motion of charged particles in a magnetic field. Models of external geomagnetic field sources Tsyganenko 1996 [2] and Tsyganenko 2005 [3] along with internal geomagnetic field model IGRF [4] are used as summary of internal and external geomagnetic field sources to simulate trajectories of cosmic rays in Earth's magnetosphere. In this work we implemented automation and management tool for calculations of cosmic rays trajectories. Important part of this work was to optimize the length of time spent on one simulation of multiple directions of cosmic ray trajectories for a specified point inside the magnetosphere. This was done by an approximation formula, based on simulated results, that calculates the value of rigidity [5] that is guaranteed to be more than 0 GV but below low cut-off rigidity for given point on Earth's surface and direction of simulated cosmic ray particle trajectory.

## II. SYSTEM DESCRIPTION

Created system is divided into: webpage, database management system, generator of input files, simulation management system and executables of physical models and plugins for evaluation of results.

### A. Webpage and database management system

The webpage is an optional module that handles access of the public to the physical model and visualizations based on it. It offers registration that needs to be approved by an administrator. Any user can request visualization of trajectory for cosmic ray particles with given rigidity, selected position and direction of incoming trajectory. Registered users can request vertical and multidirectional simulations of cosmic ray trajectories. Privileged users can easily enter requests for simulations in hourly intervals. Requests entered are stored, calculated and results are available for download and browsing for any user.

The database management system functions as an interface between the webpage and simulation management system. If COR is deployed as distributed system, database management system is also used as synchronization mechanism.

### *B. Module for simulation management*

This module represents the core of the work done. It reads input data from configured datasource that can either be file on disk, MySQL database or secured REST API endpoint.

When disk source is used, user configures paths to files containing requests in format described in the user manual. System then reads file contents once, runs requested simulations and exits. When MySQL database is used, system periodically checks database for new simulation requests and runs them. When REST endpoint is configured, system acts the same way as if the database was configured as data source. REST endpoint has to be implemented by user as specified in the user manual.

### *C. Infil Generator*

Files that hold data needed for physics module are called infils. The structure of infil file depends on type of physics module that will be used. In general for every traced trajectory direction it contains:

- Starting rigidity - value of rigidity where calculation starts.
- Particle type - type of particle to simulate, in existing system particles simulated are always protons.
- Ending rigidity - value of rigidity after which calculation stops.
- Radius - distance from Earth's center in Earth radii, of point for which we simulate.
- Geographic coordinates of selected point - latitude and longitude of the selected point.
- Geographic coordinates of trajectory direction - latitude and longitude of direction of incoming trajectory.
- Date - timestamp for which we simulate.
- Algorithm parameters - defines the size of initial simulation steps.
- Rigidity step - step for evaluating rigidities for selected trajectory.
- State of magnetosphere - parameters relevant to state of magnetosphere.
- W1 to W6 Tsyganenko parameters - parameters of geomagnetic field describing prehistory of field.

When a historical model is used, data about state of the magnetosphere are not used. W1 to W6 Tsyganenko parameters are used only for the Tsyganenko 2005 model. Overall 577 directions uniformly covering half sphere are evaluated for selected point when multidirectional simulation is requested.

### *D. Physical module*

Physical module reads infil and starts calculating trajectory of a particle with starting rigidity. When particle's velocity and charge are reversed to opposite sign, the Lorentz equation stays the same, and trajectory evaluated from the Lorentz equation doesn't change. This allows us to simulate the particle's trajectory as antiparticle's trajectory in the opposite direction. We track the trajectory of antiparticle coming from given point to given direction. If trajectory of particle crosses Earth or a number of discrete steps is higher than permitted value, the trajectory is not allowed. When trajectory crosses magnetopause or sphere with radius of 25  $R_E$  in magnetosphere tail trajectory is allowed. Physical module tests trajectories for every rigidity in interval from starting rigidity to ending rigidity with step given by rigidity step. Physical module is described in more detail in [6].

There are multiple versions of physical module, each of them can be chosen by the user. Historical model [7] is used for simulations of the years 0 to 1968. Main model for trajectory evaluation uses model of external geomagnetic field Tsyganenko 96 for years 1968 to 2015 and model Tsyganenko 05 for years 1995 to 2015. There are also special versions of models that stop simulating after first cut-off rigidity for direction is found.

### *E. Post processing*

After all directions are calculated, post-processing is run. Post processing includes reading outfil files and parsing useful information from them. Outfil of each direction includes input data from infil and column data in following format:

- Rigidity of allowed trajectory.
- Velocity of particle.
- Radius, latitude and longitude of point at magnetopause where trajectory escaped magnetosphere.
- Latitude and longitude of direction of incoming trajectory to Earth's magnetopause.

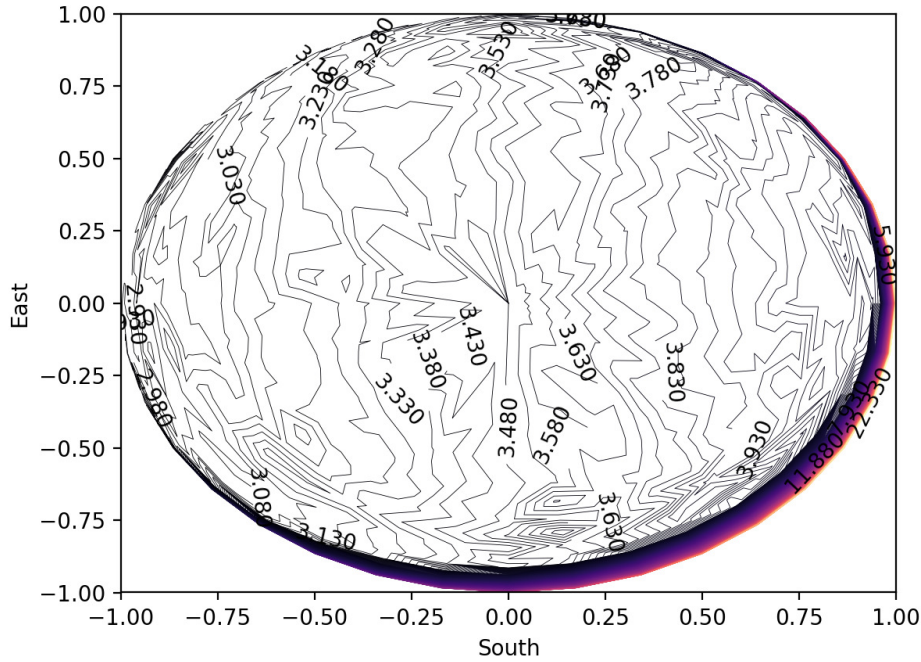


Fig. 1 Skymap of cut-off rigidities for station Lomnický štít

- Particle's travel time from magnetopause to selected point.
- Length of particle trajectory from magnetopause to selected point.

After outfiles are read, this program processes the data read and creates following files:

- Cut-off rigidity data - contains coordinates of incoming particle's direction and its low, high and effective cut-off rigidities [5].
- Map of coordinates where each coordinate has two values of cosmic ray intensity, one is for coordinates of magnetopause crosses and another for incoming direction to magnetopause.
- Data of allowed trajectories - each line represents width of allowed rigidity bands. Each line contains at least two values, first is start of allowed rigidity band and second is its width. If direction has multiple allowed rigidity bands interrupted with disallowed bands, line contains each allowed band with described format.
- Intensity of cosmic rays - this file only contains intensity of cosmic rays from solid angle  $2\pi$  per  $m^2 s^{-1}$ .
- Data for transmission function - this data has two line format. First line contains index of first non-zero probability, index of first unit probability, width of each probability bin in rigidity and maximum value of rigidity. Second line contains  $N$  values of probability for each bin.  $N$  can be computed:  $N = R_{max}/B_{width}$  where  $B_{width}$  is width of bin in rigidity. First line pair describes transmission function for vertical direction and always exist, second pair is for multidirectional transmission function and exists if more directions were simulated.

### III. VISUALIZATIONS

After post processing is finished, we use generated data to create visualizations. Each visualization described here was created for observatory Lomnický štít  $49.20^\circ N$   $20.22^\circ E$  on 10th March of 2010 10:00UT using model of external geomagnetic field Tsyganenko 05.

#### A. Skymap of cut-off rigidities

In figure 1 skymap of cut-off rigidities evaluated is presented. Map shows effective cut-off rigidities for all incoming directions. For example vertical cut-off rigidity is approximately 3.5 GV. The East-West asymetry is visible since direction from East, close to the horizon, has cut-off rigidity 2.9 GV, in the West, value of cut-off rigidity is much higher close to horizon reaching 20 GV.



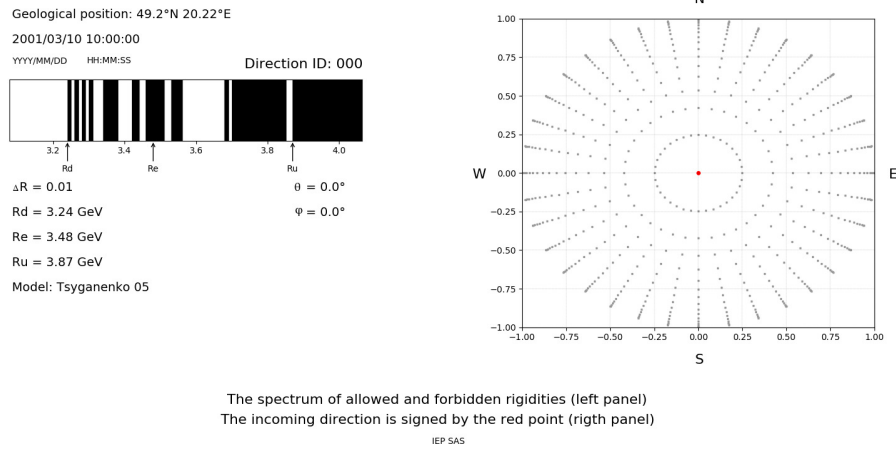


Fig. 2 Visualization of spectra of vertical cut-off rigidities for station Lomnický štít.

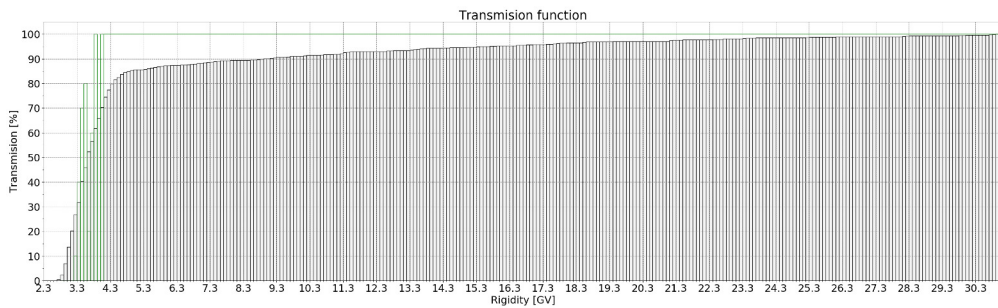


Fig. 3 Transmission function for station Lomnický štít.

### B. Visualization of spectra of vertical cut-off rigidities

In figure 2 there is an example of slide of catalogue of allowed and forbidden rigidities. Catalogue has one figure for every direction simulated, which means there are 577 figures. Example figure displays spectrum of allowed and forbidden trajectories for vertical direction. Spectrum is shown in standard form where low, high and effective cut-off rigidities and penumbra structure are displayed. Typical penumbra structure for middle latitude positions is shown. On the right panel of the figure, direction of incoming trajectory is highlighted on sky map projection. In this case, spectrum of vertical trajectory is displayed.

### C. Transmission function

Transmission functions are drawn in figure 3. Green line denotes vertical transmission function, black histogram denotes transmission function evaluated for all directions. Transmission function visualizes probability of particle with rigidity in given range to have allowed trajectory [8]. Green line shows that high vertical cut-off rigidity has value of approximately 4.3 GV. All directional transmission function has high vertical cut-off rigidity close to 31 GV.

### D. Asymptotic directions of incoming protons and their intensities

In figure 4 asymptotic cone of incoming protons for all directions is presented. Inspection of figure gives us information that most of the particles reaching Lomnický štít come from sky region over the Indian Ocean. The asymptotic cone is stretched along equatorial zone starting in Indian Ocean with highest intensities and going to the East with lower intensities. Caption of figure also shows that 4381 protons  $m^2 * s^{-1}$  fall on top of the atmosphere at position of Lomnický štít.

### E. Visualizations of cosmic ray trajectories

In figure 5 we can see allowed trajectory of proton with rigidity 3.68 GV. We can say that the trajectory is allowed because it doesn't intersect with Earth. To create this visualization we don't use data from processed outfiles but we use special model that creates files with coordinates of points of the trajectory.

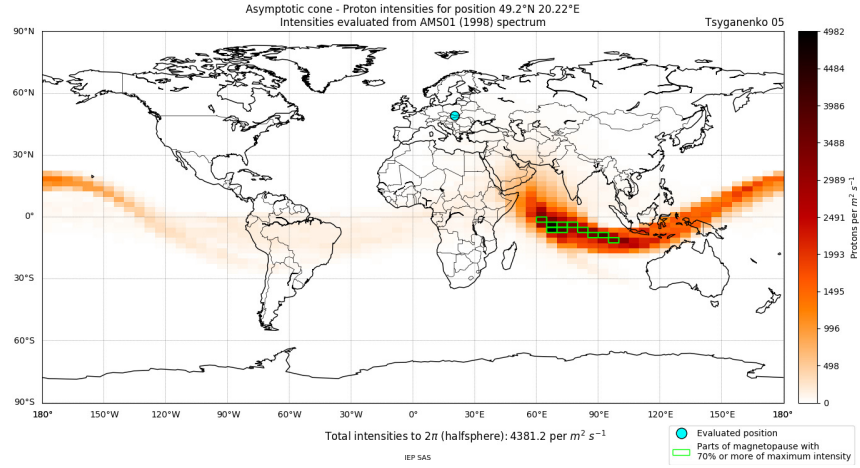


Fig. 4 Asymptotic directions of incoming protons and their intensities calculated for station Lomnický štít.

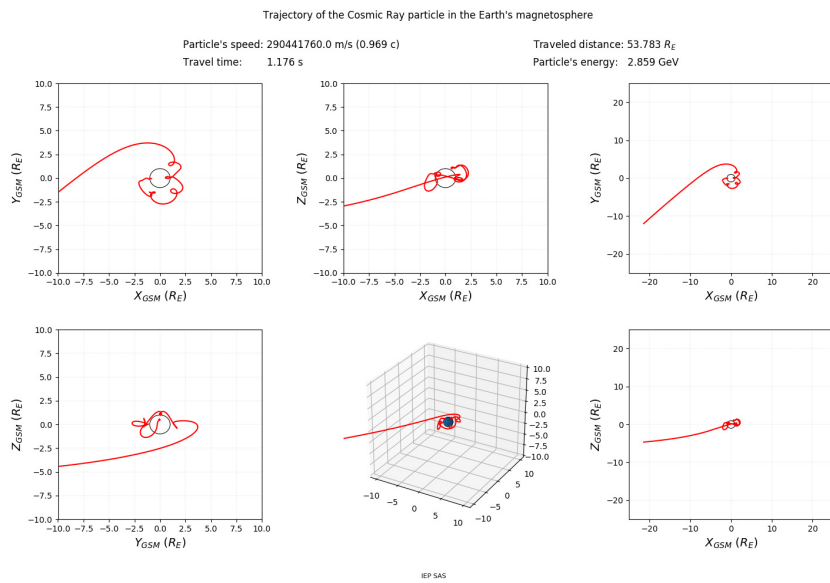


Fig. 5 Visualization of cosmic ray trajectory for point  $50^\circ N$   $0^\circ E$  with incoming direction coordinates  $10^\circ N$   $70^\circ E$ .

#### IV. OPTIMIZATION

Main part of this work was to optimize duration of multidirectional simulations. Typical length of simulations for middle latitude positions at the Earth's surface is 10-16 hours and for equatorial positions it is 5 to 10 hours. Two optimization strategies were applied both based on estimation of start cut-off rigidity. In non-optimized version all simulations start from 0.01 GV. If value closer to low cut-off rigidity is used, simulation is shorter because the forbidden trajectories under low cut-off rigidities are not evaluated. Before we started calculating simulations needed to approximate formula that calculates starting rigidities we modified main physical model. In this new model only trajectories till low cut-off rigidities are calculated, after that, simulation is stopped. Using this model we got the data we needed to deduce the formula in much shorter time.

First optimization strategy was based on simulations done for strip of positions along selected meridian. Meridian was selected in region close to South Atlantic Anomaly where cut-off rigidity values are minimal. The results of simulations along meridian were fitted by polynome of 4th order multiplied by coefficient 0.8 displayed in equation 1. Coefficient value assures that starting rigidity is estimated conservatively.

$$R_s = 0.8 * (7.87294 - (1.169E - 2 * \theta) - (3.4E - 3 * \theta^2) + (2.46528E - 6 * \theta^3) + (4.06013E - 7 * \theta^4)) \quad (1)$$

| Latitude | Longitude | Optimization level | Starting rigidity | Duration | Result  |
|----------|-----------|--------------------|-------------------|----------|---------|
| -10.05°  | 287.79°   | None               | 0.01              | 05:05:36 | Correct |
| -10.05°  | 287.79°   | First              | 6.29              | 04:24:15 | Correct |
| -10.05°  | 287.79°   | Second             | 5.59              | 04:28:12 | Correct |
| 45°      | 0°        | None               | 0.01              | 14:23:45 | Correct |
| 45°      | 0°        | First              | 1.61              | 11:37:39 | Correct |
| 45°      | 0°        | Second             | 2.07              | 11:12:05 | Correct |

Table 1  
 Table of duration of simulations for various points on Earth with different levels of optimization.

| Optimization level | Full model | Low cut-off rigidity model | Optimal simulation duration |
|--------------------|------------|----------------------------|-----------------------------|
| None               | 16:25      | 9:49                       | 6:36                        |
| First              | 08:30      | 2:07                       | 6:23                        |
| Second             | 11:15      | 4:45                       | 6:30                        |

Table 2  
 Table of simulation duration for full model and low cut-off rigidity model and deduced optimal simulation time.

In equation 1  $R_s$  is starting rigidity and  $\theta$  is geomagnetic latitude.

Second optimization strategy was based on simulation of net of points uniformly distributed over the globe in geomagnetic coordinates. Results of simulation were fitted by two dimensional polynome of 6th order.

Simulation duration for both levels of optimization is shown in table 1. In this table we can see that duration and duration reduction is highly dependent on geographic position. Although difference in starting rigidity is very small for high latitudes, difference in duration is large especially compared to low latitudes where difference of starting rigidity is 6.28 GV but duration reduction is only around half of an hour. We can also see that second level of optimization usually saved less time than the first approach and when it saved more time, it was almost unnoticeable. Reason for this might be in big error deviation cause by fitting for which we had to compensate.

By comparing durations of calculation for full model and model for calculation of first allowed trajectory for station Lomnický štít as is shown is table 2, we came to conclusion that minimum time for simulation was 6 and half of an hour. Using first level of optimization, simulation took 8 hours and 30 minutes. In comparision, simulation without optimization for this station took 16 hours and 25 minutes. Times of simulation are tracked by module for simulation management and are stored in database.

Both optimization methods created physically correct results, only measurabke difference was a result of numerical mistake caused by representation of floating point numbers [9].

## V. CONCLUSION

In this work we created system that automates simulations of cosmic ray trajectories. This system also creates viasualizations that we described. We also described different approaches to optimize duration of simulation and evaluated that first approach is better for most cases. Main accomplishment was reducing the time needed for multidirectional simulations up to approximately 50% of original time in best measured case.

## REFERENCES

- [1] M. S. Potgieter, "Solar modulation of cosmic rays," *Living Reviews in Solar Physics*, vol. 10, no. 1, p. 3, 2013.
- [2] N. A. Tsyganenko and D. P. Stern, "Modeling the global magnetic field of the large-scale birkeland current systems," *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, vol. 101, no. A12, pp. 27 187–27 198, 1996.
- [3] N. Tsyganenko and M. Sitnov, "Modeling the dynamics of the inner magnetosphere during strong geomagnetic storms," *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, vol. 110, no. A3, 2005.
- [4] E. Thébault, C. C. Finlay, C. D. Beggan, P. Alken, J. Aubert, O. Barrois, F. Bertrand, T. Bondar, A. Boness, L. Brocco *et al.*, "International geomagnetic reference field: the 12th generation," *Earth, Planets and Space*, vol. 67, no. 1, p. 79, 2015.
- [5] D. Cooke, J. Humble, M. Shea, D. Smart, N. Lund, I. Rasmussen, B. Byrnek, P. Goret, and N. Petrou, "On cosmic-ray cut-off terminology," *Il Nuovo Cimento C*, vol. 14, no. 3, pp. 213–234, 1991.
- [6] P. Bobik, M. Boschini, D. Grandi, M. Gervasi, E. Micelotta, and P. Rancoita, "A back-tracing code to study the magnetosphere transmission function for primary cosmic rays," *GEOPHYSICAL MONOGRAPH-AMERICAN GEOPHYSICAL UNION*, vol. 155, p. 301, 2005.
- [7] K. Kudela and P. Bobik, "Long-term variations of geomagnetic rigidity cutoffs," *Solar Physics*, vol. 224, no. 1-2, pp. 423–431, 2004.
- [8] P. Bobik, G. Boella, M. Boschini, M. Gervasi, D. Grandi, K. Kudela, S. Pensotti, and P. Rancoita, "Magnetospheric transmission function approach to disentangle primary from secondary cosmic ray fluxes in the penumbra region," *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, vol. 111, no. A5, 2006.
- [9] D. Goldberg, "What every computer scientist should know about floating-point arithmetic," *ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 23, no. 1, pp. 5–48, 1991.

# Analýza astronomických dát - detekcia lineárnych objektov v prehliadke oblohy

<sup>1</sup>Daniel Kottner, <sup>2</sup>Viera Maslej Krešňáková, <sup>3</sup>Peter Butka

<sup>1,2,3</sup>Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

<sup>1</sup> daniel.kottner@student.tuke.sk <sup>2</sup> viera.maslej.kresnakova@tuke.sk,  
<sup>3</sup> peter.butka@tuke.sk

**Abstrakt** – Táto práca je zameraná na detekciu lineárnych objektov v prehliadke oblohy pomocou konvolučných neurónových sietí. Práca obsahuje niekoľko experimentov, čo sa týka nie len predspracovania dát ale aj samotného modelovania. Ukázalo sa, že vďaka konvulčným neurónovým sietiam dokážeme detegovať lineárne objekty s 95% úspešnosťou a to bez potreby zložitého predspracovania dát.

**KLúčové slová** – astrofyzika, konvulčná neurónová sieť, lineárny objekt

## I. ÚVOD

Digitálny prieskum oblohy známy pod názvom *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS) [1], patrí medzi najambicióznejší astronomický prieskum. Jeho ambícia spočíva v mapovaní jednej štvrtiny celej oblohy, schopnosti určiť pozíciu a absolútny jas stoviek miliónov vesmírnych telies a meraní vzdialeností k viac ako miliónu galaxií a kvasarom. Moderné algoritmy sa pri detekcii objektov v astronómii v rámci klasických prehliadok oblohy orientujú na hviezdy a galaxie, pričom ignorujú prítomnosť iných artefaktov ako sú lineárne objekty spôsobené preletmi svetelných zdrojov pred kamerou počas expozície. So vznikom rozsiahlych digitalizovaných prieskumov oblohy začali tieto lineárne objekty pútať pozornosť vedcov čoraz viac, pretože predstavujú zaujímavý zdroj sledovania preletov asteroidov v blízkosti Zeme a meteorov.

## II. DETEKCIA LINEÁRNYCH OBJEKTOV

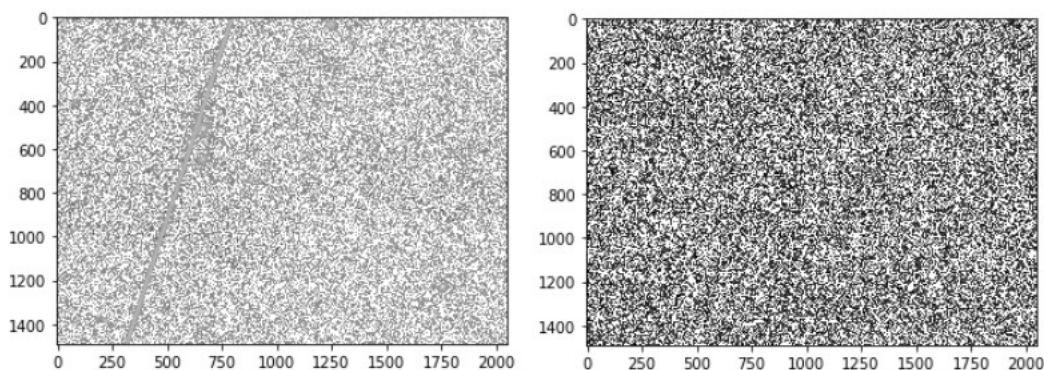
Na základe metodológie CRISP-DM [2] popíšeme celý analytický proces, ktorý bol aplikovaný pri realizácii úlohy detekcie lineárnych objektov v prehliadke oblohy s použitím metód hlbokého učenia.

### A. Pochopenie cieľa

Cieľom tejto práce je rozpoznanie vesmírnych objektov, ktorých pohyb cez snímanú časť oblohy zanechal stopu v tvare priamky prostredníctvom metód hlbokého učenia - neurónových sietí.

V štúdiách [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11] sa ukázalo, že klasifikácia astronomických obrázkov pomocou konvulčných neurónových sietí preukazuje veľmi dobré výsledky. Na základe toho sme sa rozhodli porovnať experiment dvoch vedcov Dina Bekteševiča a Dejana Vinkoviča s názvom *Linear feature detection algorithm for astronomical surveys* [12] s detekciou lineárnych objektov pomocou neurónovej siete.

Práca [12] je založená na Houghovej transformácii. V rámci prípravy obrazu použili 2 metódy – dilatáciu a eróziu. Samotný algoritmus sa skladá z troch úrovní, v ktorých je každý krok časovo náročnejší a menej spoľahlivý. Na základe týchto úrovní sa zisťuje prítomnosť jasných alebo menej výrazných lineárnych objektov. Prvým krokom je odstránenie všetkých známych objektov ako sú hviezdy a galaxie. Nasleduje krok, v ktorom sa algoritmus pokúša nájsť jasný lineárny objekt a ak sa v tomto kroku potvrdí jeho prítomnosť, proces sa ukončí a zaznamená sa výstup. Ak sa nepreukáže prítomnosť jasného lineárneho objektu, algoritmus prechádza na krok, v ktorom hľadá nejasný respektíve zahmlený lineárny objekt. Detekcia je v oboch krokoch tvorená viacnásobným testovaním prítomnosti lineárnych objektov na obraze a v prípade, že sa pri jednom teste prítomnosť nepreukáže, obraz je automaticky považovaný za negatívny. Cieľom práce je najmä zjednodušiť zložité predspracovanie týchto snímok.



Obr. 1 Ukážka snímok z SDSS po čiastočnom predspracovaní - vľavo s lineárnym objektom, vpravo bez

### B. Pochopenie dát

Dáta sú prevzaté z oficiálneho úložiska SDSS prostredníctvom naprogramovaných skriptov pre zautomatizovanie procesu. V prvom rade sú prevzaté dáta, na ktorých sa nachádzajú lineárne objekty, teda klasifikované ako pozitívne. Tieto dáta sú sťahované na základe zoznamu manuálne anotovaných obrazov. Následne sú prevzaté dáta, na ktorých by sa nemali nachádzať lineárne objekty, teda klasifikované ako negatívne. Na rozdiel od pozitívnych dát, nie je na 100% isté, že negatívny obraz neobsahuje lineárne objekty, pretože tieto dáta sú sťahované náhodne. Pri realizácii experimentov je použitých 13000 pozitívnych a 13000 negatívnych vzoriek a každá z nich má veľkosť približne 13 Mb.

Na obrázku 1 sa nachádza na ľavej strane snímka oblohy, kde sú detekované lineárne objekty a na pravej strane sa nachádza snímka oblohy, kde lineárne objekty detekované nie sú. Z dôvodu lepšej viditeľnosti ľudským okom sú hodnoty pixlov v snímkach upravené prostredníctvom logaritmického interpolačie.

### C. Predspracovanie dát

Vytvorili sme niekoľko experimentov, na predspracovanie dát:

- predspracovanie dát škálovaním,
- predspracovanie dát škálovaním a normovaním,
- rotáciou pôvodnej dátovej množiny,
- predspracovanie dát logaritmovaním hodnôt pixlov a
- predspracovanie dát eróziou a dilatáciou.

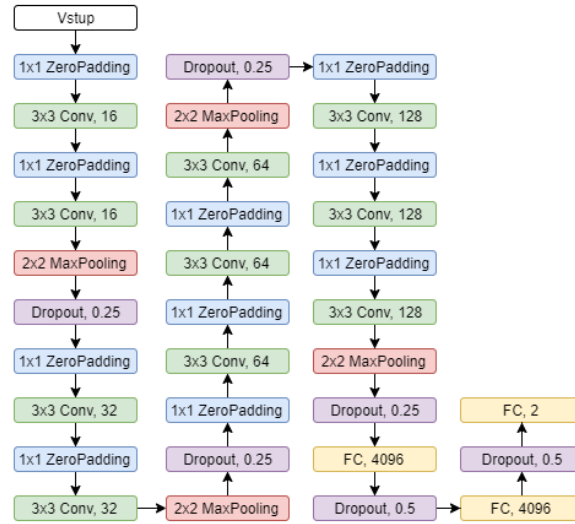
Najlepšie výsledky pri tréňovaní sme dostali s dátami, ktoré boli predspracované škálovaním, normovaním a rotáciou. Po úprave sa všetky záporné hodnoty prepísali na hodnotu 0.001 a veľmi vysoké hodnoty na hodnotu 255. Cieľom takto zvolenej spodnej hranice bolo zachovať čo najviac informácií o objektoch zachytených na snímke. Podstatnejší krok pre naučenie modelu bolo normovanie hodnôt do rozmedzia (0, 1). Takto predspracované obrázky sme ešte rotovali, aby sme zväčšili tréňovaciu množinu. Z každej jednej snímky tak vznikli tri nové tak, že každá jedna bola pootočená o 90 stupňov v závislosti od predchádzajúcej. Testovacia množina dát ostala z hľadiska počtu snímok nezmenená.

### D. Modelovanie

Počas experimentov sme vytvorili 4 modely konvolučnej neurónovej siete. Na obrázku 2 je znázornený najúspešnejší Model č.4. Zelené okienka prezentujú konvolučné vrstvy, pričom prvý údaj hovorí o veľkosti okna a posledný o počte použitých filtrov. Skratky FC predstavujú *fully connected layers*, teda plne prepojené vrstvy s údajom o počte neurónov. Všetky modely a experimenty boli realizované v programovacom jazyku *Python 3* s využitím *Keras* a *TensorFlow*.

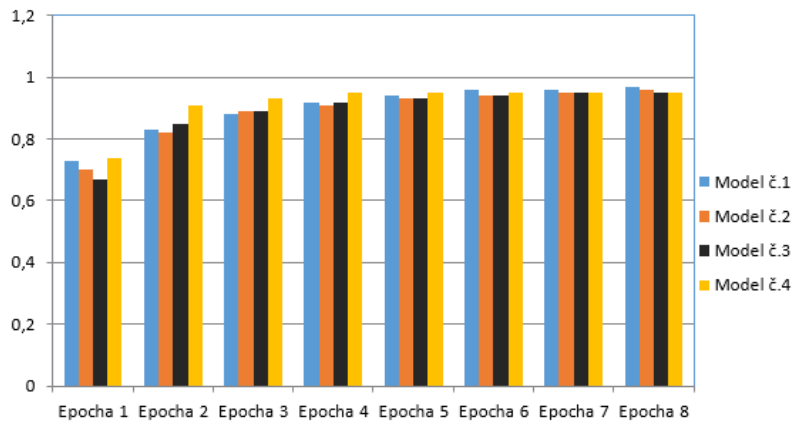
#### Tréňovanie

Výsledky úspešnosti modelov počas procesu tréningu po aplikovaní rozšírenej tréňovacej množiny sú zobrazené na Obr. 3 a Obr. 4 Proces tréningu bol v tomto prípade rozdelený na 8 epoch, pretože hodnoty úspešnosti prestali od siedmej epochy výrazne narastať. Na prvom grafe (Obr. 3) je zobrazený priebeh rastúcej úspešnosti modelov pri klasifikácii dát. Najväčšiu úspešnosť dosiahol Model č.1 a najnižšiu Model č.3, ktorá bola v tomto prípade len o trochu vyššia ako

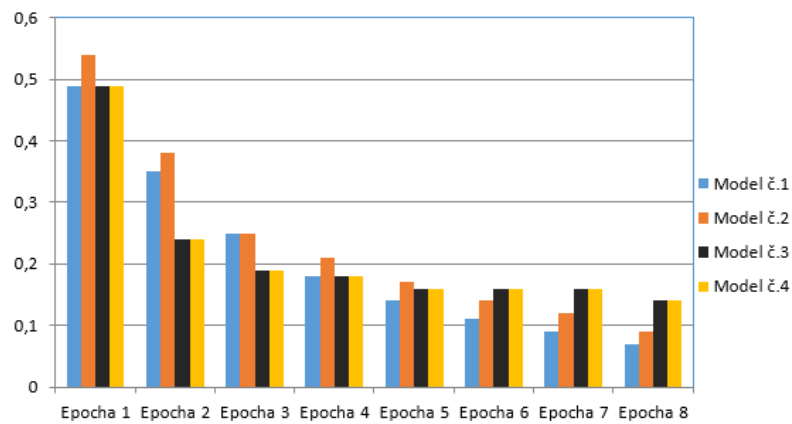


Obr. 2 Architektúra Modelu č.4 – konvolučná neurónová sieť

úspešnosť Modelu č.4. Na druhom grafe (Obr. 4) je zobrazený priebeh chybovej funkcie, ktorá bola takmer počas celého procesu tréningu klesajúca. V závere bola najnižšia hodnota tejto metriky zaznamenaná pri Modeli č.1 a najvyššia pri Modeli č.3.



Obr. 3 Úspešnosť jednotlivých modelov počas tréningovania



Obr. 4 Vývoj chybovej funkcie počas tréningovania



### E. Vyhodnotenie

#### Testovanie

Pri testovaní modelov na testovacej množine dát bol z hľadiska úspešnosti najmenej presný najjednoduchší Model č.1 a úspešnosť modelov postupne rástla pri zložitejších modeloch. Z hľadiska tejto metriky boli najpresnejšie Model č.3 a Model č.4, ktoré sa líšili v metrikách presnosti a návratnosti. Model č.3 mal trochu väčšie problémy pri rozpoznávaní pozitívnych dát, čomu nasvedčujú nižšie hodnoty návratnosti ale výsledok bol veľmi dobrý pri vyhodnocovaní správnosti pozitívne klasifikovaných dát, čo je viditeľné na hodnote presnosti. Pre Model č.4 platí to isté až na to, že rozdiel medzi presnosťou a návratnosťou dosahuje hodnotu 1%. Z hľadiska chybovej funkcie je najúspešnejším Model č.3, no rozdiel od modelu č.4 je veľmi malý. Metrika F1 skóre nadobudla takmer pri všetkých modeloch rovnaké hodnoty ako ich úspešnosti. V rámci tohto experimentu sú uvádzané kontingenčné tabuľky Modelu č.3 a Modelu č. 4, pretože ich metrika úspešnosti je identická a rozdiel v metrike chybovej funkcie je minimálny.

| Model     | Úspešnosť | Presnosť | Návratnosť | F1 skóre | Chybová funkcia |
|-----------|-----------|----------|------------|----------|-----------------|
| Model č.1 | 89%       | 93%      | 85%        | 89%      | 0.4             |
| Model č.2 | 94%       | 98%      | 89%        | 93%      | 0.21            |
| Model č.3 | 95%       | 99%      | 91%        | 95%      | 0.17            |
| Model č.4 | 95%       | 96%      | 95%        | 95%      | 0.18            |

Tabuľka 1  
 Vyhodnotenie metrick na trénovacej množine dát

V kontigenčnej tabuľke 2 je viditeľný veľmi dobrý výsledok modelu pri klasifikácii negatívnych dát, kedy dokázal správne klasifikovať 6432 snímok a len 68 krát sa mýlil. Trochu horšie výsledky dosiahol pri klasifikácii pozitívnych dát, kedy zo 6500 použitých pozitívnych dát správne klasifikoval 5935 snímok.

|                  |                | Predikovaná hodnota |                |
|------------------|----------------|---------------------|----------------|
|                  |                | Negatívne dáta      | Pozitívne dáta |
| Skutočná hodnota | Negatívne dáta | 6432                | 68             |
|                  | Pozitívne dáta | 565                 | 5935           |

Tabuľka 2  
 Kontigenčná matica pre Model č.3

V kontigenčnej tabuľke Modelu č.4 (vid'. tabuľka 3) je uvedený stabilnejší výsledok z hľadiska konkrétnych počtov chybných klasifikácií pozitívnych a negatívnych dát. Zo 6500 použitých pozitívnych dát model klasifikoval správne 6211 snímok a veľmi podobný počet vznikol aj pri negatívnych snímkach, kedy ich bolo správne klasifikovaných 6175.

### III. ZÁVER

V rámci všetkých realizovaných experimentov sa dosiahli rôzne výsledky pripravených modelov v dôsledku rôznych predspracovaní dát. Vyskúšali sa viaceré alternatívy predspracovania s cieľom zvýrazniť lineárny objekt a odstrániť šum v jeho okolí, no bolo veľmi komplikované optimalizovať tieto 2 procesy. Najčastejším problémom bola strata informácie o prítomnosti lineárneho objektu pri odstraňovaní šumu. Sledované metriky pri procese testovania modelov preukázali, že pri všetkých experimentoch bol počet falošne negatívnych dát väčší ako počet falošne pozitívnych, čo znamená rovnaký pomer ako pri experimente s použitím knižnice [12]. Tento pomer vyplýva z toho, že v dátach je väčší počet snímkov, na ktorých sa nachádza veľmi nejasný lineárny objekt, ako snímok, na ktorých sa nachádza nechcená saturácia, ktorú model klasifikuje ako lineárny objekt.



|                  |                | Predikovaná hodnota |                |
|------------------|----------------|---------------------|----------------|
|                  |                | Negatívne dáta      | Pozitívne dáta |
| Skutočná hodnota | Negatívne dáta | 6211                | 289            |
|                  | Pozitívne dáta | 325                 | 6175           |

Tabuľka 3  
Kontingenčná matica pre Model č.4

Výsledky experimentu kde sa obrázky predspracovali iba škálovaním, normovaním a rotovaním (bez použitia ďalších zložitejších filtrov) a následne spracovávali použitím Modelu č.4 (vid'. Obr. 2) ukázali, že je možné úspešne aplikovať neurónové siete na detekciu lineárnych objektov v dátach z SDSS. Prínos tejto práce je úspešná klasifikácia bez potreby komplikovaného predspracovania dát.

#### POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporená grantom – Slovak VEGA grant no. 1/0493/16.

#### REFERENCIE

- [1] D. G. York and col., "The sloan digital sky survey: Technical summary," *The Astronomical Journal*, vol. 120, no. 3, pp. 1579–1587, sep 2000. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1086%2F301513>
- [2] J. Paralič, *Objavovanie znalostí v databázach*. Elfa, 2003, <http://people.tuke.sk/jan.paralic/knihy/ObjavovanieZnalostivDB.pdf>.
- [3] M. Zevin, S. Coughlin, S. Bahaadini, E. Besler, N. Rohani, S. Allen, M. Cabero, K. Crowston, A. K. Katsaggelos, S. L. Larson, T. K. Lee, C. Lintott, T. B. Littenberg, A. Lundgren, C. Osterlund, J. R. Smith, L. Trouille, and V. Kalogera, "Gravity Spy: Integrating advanced LIGO detector characterization, machine learning, and citizen science," *Classical and Quantum Gravity*, 2017.
- [4] S. Bahaadini, N. Rohani, S. Coughlin, M. Zevin, V. Kalogera, and A. K. Katsaggelos, in *ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings*, 2017.
- [5] D. George, H. Shen, and E. A. Huerta, "Deep Transfer Learning: A new deep learning glitch classification method for advanced LIGO," 2017. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1706.07446>
- [6] D. George, H. Shen, and E. Huerta, "Glitch Classification and Clustering for LIGO with Deep Transfer Learning," no. Dlps, 2017. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1711.07468>
- [7] Y. D. Hezaveh, L. P. Levasseur, and P. J. Marshall, "Fast automated analysis of strong gravitational lenses with convolutional neural networks," *Nature*, 2017.
- [8] M. Pourrahmani, H. Nayyeri, and A. Cooray, "LensFlow: a convolutional neural network in search of strong gravitational lenses," pp. 1–10, 2017.
- [9] S. Ackermann, K. Schawinski, C. Zhang, A. K. Weigel, and M. Dennis Turp, "Using transfer learning to detect galaxy mergers," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2018.
- [10] K. Schawinski, C. Zhang, H. Zhang, L. Fowler, and G. K. Santhanam, "Generative adversarial networks recover features in astrophysical images of galaxies beyond the deconvolution limit," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 2017.
- [11] E. J. Kim and R. J. Brunner, "Star-galaxy classification using deep convolutional neural networks," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2017.
- [12] D. Bektešević and D. Vinković, "Linear feature detection algorithm for astronomical surveys - I. Algorithm description," , vol. 471, no. 3, pp. 2626–2641, Nov 2017.

# Automatické rozpoznávanie bilingválnej reči

<sup>1</sup>Matúš PLEVA, <sup>2</sup>Yuan-Fu LIAO, <sup>3</sup>Daniel HLÁDEK, <sup>4</sup>Ján STAŠ,  
<sup>5</sup>Martin LOJKA,

<sup>1,3,4,5</sup>Department of Electronics and Multimedia Communications, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice, Slovak Republic

<sup>2</sup>Department of Electronic Engineering, College of Electrical Engineering and Computer Science, National Taipei University of Technology, Taiwan

<sup>1</sup>matus.pleva@tuke.sk, <sup>2</sup>yfliao@mail.ntut.edu.tw, <sup>3</sup>daniel.hladek@tuke.sk,  
<sup>4</sup>jan.stas@tuke.sk, <sup>5</sup>martin.lojka@tuke.sk

**Abstrakt** – V tomto článku je opísaný progres spoločného projektu na multilingválne automatické rozpoznávanie reči na ktorom spolupracuje Technická univerzita spolu s National Taipei University of Technology z Tajvanu. Počas minulého roka sa podarilo natréňovať multilingválne modely kombinácií jazykov slovensko-anglický aj slovensko-anglicko-čínsky. V tomto článku predstavíme výsledky slovensko-anglického modelu na báze hlbokého učenia s využitím detekcie jazyka aj bez neho. Výsledky naznačujú že využitie modulu detekcie jazyka môže priblížiť chybovosť multilingválneho modelu výsledkom monolingválnych, ktoré sú vo všeobecnosti lepšie pre monolingválne komunikačné prostredie.

**KLúčové slová** – automatické rozpoznávanie reči, bilingválne rozpoznávanie reči, hlboké učenie

## I. ÚVOD

Vďaka globalizácii, otvorenej kultúre a jednoduchému prístupu k informáciám na Internete sú používatelia vystavení viac multilingválnemu komunikačnému prostrediu v oveľa väčšej miere ako tomu bolo v minulosti. Vďaka tomu sa začali vyskytovať v hovorenej spontánnej reči cudzojazyčné slová aj s cudzou výslovnosťou (skôr ako sú prispôbené do slovenskej výslovnosti). To vedie k výskumu a vývoju multilingválnych systémov, ktoré by boli schopné rozpoznávať viacero jazykov naraz v prostredí, kde sa často miešajú.

Výskum multilingválneho LVCSR urobil v posledných rokoch veľký pokrok, najmä zavedením hlbokého učenia v neurónových sieťach (DNNs) [1], [2], [3]. V týchto prácach boli DNN učené samostatne rozpoznávať mnoho rôznych jazykov alebo vykonávať jednu primárnu úlohu rozpoznávania reči pomocou niekoľkých pomocných funkcií.

Najznámejšou je architektúra shared-hidden layer (SHL) [1], kde sú skryté vrstvy zdieľané medzi jazykmi, ale výstupná vrstva je závislá od jazyka. Iný prístup je využitý keď sa použijú viacvrstvové rekurentné neurónové siete (MRNN) [2], kde boli skombinované bilingválne systémy automatického rozpoznávania reči s veľkým slovníkom LVCSR a identifikátory jazyka LID a prebiehali paralelne, aby si navzájom pomáhali. V tejto práci bola modifikovaná alternatíva, keď sa využíva jazykovo univerzálny/nezávislý end-to-end model (LUE) [3]. Metóda využíva jazykovo špecifický hradlový mechanizmus, ktorý umožňuje modulovať internú reprezentáciu siete jazykovo špecifickým spôsobom.

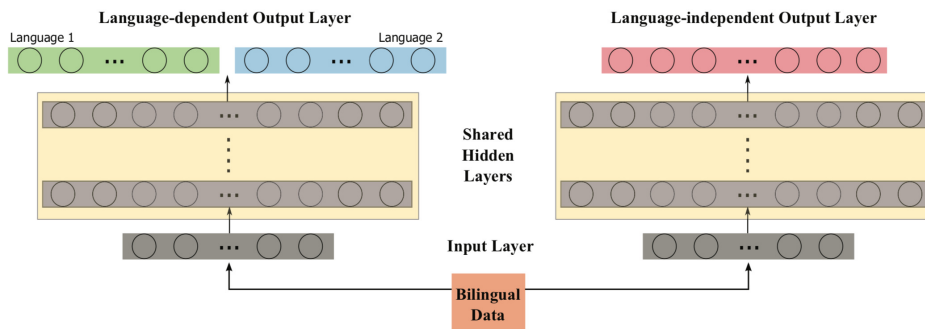
S cieľom zvýšiť diskriminatívnu schopnosť rozpoznávača reči voľby medzi rozpoznávanými jazykmi, najmä vo fáze dekodovania, bol navrhnutý prístup založený na použití hradlového mechanizmu (gated module neural network - GMN), ktorý priamo rozlišuje jazyky na úrovni rámcov. Základnou myšlienkou je použitie multilingválnych LVCSR a LID spustených paralelne a integrované s hradlovým mechanizmom.

## II. TRÉNOVANIE MODELOV BILINGVÁLNEJ REČI

### A. Monolingválne databázy a akustické modely

Na vytvorenie systému automatického rozpoznávania plynulej angličtiny a slovenčiny sme sa rozhodli používať nástroj Kaldi<sup>1</sup> [4] (open source s Apache License v2.0). Spoločnosť TaipeiTech

<sup>1</sup><http://kaldi-asr.org/doc/about.html>



Obr. 1 Blokový diagram multilingválneho rozpoznávača reči so zdieľaním skrytých vrstiev.

Tabuľka 1  
Akustické databázy použité na tréning akustických modelov

| DB                | Language | Hours |
|-------------------|----------|-------|
| LibriSpeech [8]   | English  | 475   |
| TUKE-BNews-SK [9] | Slovak   | 280   |

Lab už má skúsenosti s implementáciou a testovaním mandarínsko / anglického bilingválneho rozpoznávača [5]. Použité akustické korpory pre tréningový proces akustického modelu anglického a slovenského jazyka je zobrazených v Tabuľke 1. Okrem toho bol využitý multilingválny rozpoznávač so zdieľaním skrytých vrstiev (SHL), ako je znázornené na Obr. 1. Pri tréningu bolo použitých 43 MFCC a 100 i-vektor dimenzií, pričom TDNN (Time delay neural network) používal 850 neurónov na každú zo 6-tich skrytých vrstiev [6].

### B. Code Switching

Na učenie bilingválneho rozpoznávača reči sú potrebné databázy s vetami, kde sa v reči vyskytujú slová v cudzom jazyku aj s cudzojazyčnou výslovnosťou.

Code Switching sa vyskytuje vtedy, keď hovoriaci strieda dva alebo viac jazykov alebo jazykové dialekty v rámci jednej konverzácie. Toto je dobre známe správanie sa na stretnutiach v globálnych technologicky orientovaných spoločnostiach, kde je oficiálnym jazykom angličtina alebo nemčina atď. Počas stretnutí sa materinský jazyk zmieša s anglickými slovami alebo frázami používanými v spoločnosti na konkrétne úlohy, procesy, vybavenie atď.

Iné príklady bilingválnej reči môžeme nájsť v záznamoch letovej prevádzky pri komunikácii slovenských letových dispečerov so slovenskými pilotmi, keď časť komunikácie ide podľa medzinárodných anglických štandardov a potom zaznie niekoľko zdvorilostných fráz v slovenčine. Ďalším príkladom sú technologicky orientované prednášky alebo testy výrobkov a áut, či recenzie a návody k anglickému softvéru. Pri prednáškach sa však nemusíme držať technologickej podskupiny, anglické frázy sa často vyskytujú aj vo finančníctve, sociálnych vedách či klimatických konferenciách. [7]

Z týchto a podobných zdrojov bolo čerpané pri vzniku slovensko-anglickej bilingválnej databázy [7], ktorá je v súčasnosti anotovaná na zvýšenie presnosti systému rozpoznávania jazyka (LID) ale aj na testovanie výsledného bilingválneho systému. Momentálne obsahuje vyše 2 hodín nahrávok bilingválnej reči.

### C. Textové databázy a jazykové modely

Na účely testovania a hodnotenia systém potrebuje jazykové modely. Jazykový model pre tento výskum bol poskytnutý z projektu TUKE APVV-15-0517 s názvom Automatické titulkovanie audiovizuálneho obsahu pre sluchovo postihnutých<sup>2</sup>. Tento model ale nakoniec nebol použitý pri testoch prezentovaných v tejto práci, ale bude použitý pri ďalších testoch do konca roku 2019. V tejto práci sú prezentované výsledky kde slovenský jazykový model je založený na neurónových sieťach a je natrénovaný z časti korpusu KEMT-BN, ktorá nebola využitá pri testovaní. Podobne sa vytvoril jazykový model pre angličtinu a preto mali teda rovnaké testovacie podmienky.

<sup>2</sup><http://access.kemt.fe.i.tuke.sk/>

Tabuľka 2  
Výsledky monolingválnych LVCSR

| TDNN Model | Dev Set WER [%] | Test Set WER [%] |
|------------|-----------------|------------------|
| slovenský  | 17.46           | 17.76            |
| anglický   | 8.05            | 8.63             |

Tabuľka 3  
Výsledky bilingválneho modelu LVCSR bez modulu identifikácie jazyka (LID)

| Sk/En Model | Dev Set WER [%] | Test Set WER [%] |
|-------------|-----------------|------------------|
| slovenský   | 17.35           | 16.15            |
| anglický    | 8.71            | 9.19             |

Tabuľka 4  
Výsledky bilingválneho LVCSR s využitím modulu identifikácie jazyka (LID)

| Sk/En Model | Dev Set WER [%] | Test Set WER [%] |
|-------------|-----------------|------------------|
| slovenský   | 17.32           | 16.13            |
| anglický    | 8.64            | 8.97             |

### III. DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY, ZÁVER A PLÁN PRÁČ

V Tabuľkách 2, 3, a 4 môžeme vidieť výsledky dosiahnuté s navrhovaným systémom na bilingválne rozpoznávanie reči. Výsledky sú uvádzané v mierke WER (Word Error Rate), čo je pomer úspešne rozpoznaným slov ku všetkým slovám v testovacej databáze a uvádza sa v percentách.

Je možné skonštatovať, že vďaka navrhovanému multilingválnemu LVCSR a LID spustených paralelne a integrovaných s hradlovým mechanizmom bolo možné dosiahnuť výsledky porovnateľné (viď. Tabuľka 4.) s monolingválnym rozpoznávačom (viď. Tabuľka 2.) [10], [11], [12], ktoré sú vo všeobecnosti lepšie pri rozpoznávaní monolingválnych dát, ako bilingválne rozpoznávače bez identifikátora jazyka a hradlového mechanizmu (viď. Tabuľka 3.). Treba podotknúť, že bilingválna testovacia databáza je stále vo vývoji a tak nebolo možné posúdiť výsledky pri bilingválnom teste, keď sa v jednej vete vyskytujú slová oboch jazykov aj výslovností.

Tento článok popisuje prebiehajúcu prácu nášho dvojročného projektu (2018 až 2019). V súčasnosti sme vykonali prvé testy bilingválnych aj monolingválnych automatických rozpoznávačov reči s veľkým slovníkom (LVSCR) založených na Kaldi [4] (TDNN, ResNet alebo dokonca DenseNet) a neskôr plánujeme otestovanie aj nových technológií ako je DeepSpeech<sup>3</sup> [13].

### POĎAKOVANIE

Túto prácu čiastočne podporilo Taiwanské ministerstvo vedy a technológií MOST-SRDA PPP na základe zmluvy číslo 107-2911-I-027-501, čiastočne Agentúra pre výskum a vývoj na základe zmluvy č. APVV SK-TW-2017-0005, APVV-15-0517, APVV-15-0731, čiastočne Kultúrna a edukačná grantová agentúra MŠVVaŠ SR z projektu KEGA 009TUKE-4/2019 a čiastočne Vedecká grantová agentúra realizáciou výskumného projektu VEGA 1/0511/17 financovaného z prostriedkov Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR.

### LITERATÚRA

- [1] J.-T. Huang, J. Li, D. Yu, L. Deng, and Y. Gong, *Cross-language knowledge transfer using multilingual deep neural network with shared hidden layers*, in Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2013 IEEE International Conference on. IEEE, 2013, pp. 7304–7308.
- [2] Z. Tang, L. Li, and D. Wang, *Multi-task recurrent model for true multilingual speech recognition*, in 2016 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA), Dec 2016, pp. 1–4.
- [3] S. Kim and M. L. Seltzer, *Towards language-universal end-to-end speech recognition*, arXiv preprint arXiv:1711.02207, 2017.
- [4] D. Povey, A. Ghoshal, G. Boulianne, L. Burget, O. Glembek, N. Goel, M. Hannemann, P. Motlicek, Y. Qian, P. Schwarz, J. Silovsky, G. Stemmer, K. Vesely, *The Kaldi speech recognition toolkit*, In Proceedings of IEEE 2011 Workshop on Automatic Speech Recognition and Understanding - ASRU 2011, Hilton Waikoloa Village, Big Island, Hawaii. IEEE Signal Processing Society, 2011.
- [5] C. T. Lin, Y. R. Wang, S. H. Chen and Y. F. Liao, *A preliminary study on cross-language knowledge transfer for low-resource Taiwanese Mandarin ASR*, 2016 Conference of The Oriental Chapter of International Committee for Coordination and Standardization of Speech Databases and Assessment Techniques (O-COCOSDA), Bali, IEEE, pp. 33–38, 2016.

<sup>3</sup><https://github.com/mozilla/DeepSpeech>

- [6] Liao, Y. F., Pleva, M., Hladek, D., Stas, J., Vizslay, P., Lojka, M., Juhar, J.: *Gated Module Neural Network for Multilingual Speech Recognition*, 2018 11th International Symposium on Chinese Spoken Language Processing (ISCSLP), Taipei City, Taiwan, IEEE, pp. 131–135, 2018.
- [7] L. Hudak, *Methods for bilingual automatic speech recognition*, 2019 Bachelor thesis in Slovak, KEMT, FEI, TUKE, Kosice, 2019.
- [8] V. Panayotov, G. Chen, D. Povey, and S. Khudanpur. *Librispeech: an ASR corpus based on public domain audio books*. In Proceedings of Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2015 IEEE International Conference on, pp. 5206–5210. IEEE, 2015.
- [9] M. Pleva and J. Juhar, TUKE-BNews-SK: Slovak Broadcast News Corpus Construction and Evaluation, In: LREC 2014 : Ninth International Conference on Language Resources and Evaluation : May 26-31, 2014, Reykjavik, Iceland. - Paris : ELRA, 2014, pp. 1709–1713, 2014.
- [10] M. Pleva, J. Juhar, A. Cizmar, Ch. Hudson, D. Carruth, C. Bethel, *Implementing English speech interface to Jaguar robot for SWAT training*, In proceedings: Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI), 2017 IEEE 15th International Symposium on, Herlany, Slovakia, IEEE, pp. 105–110, 2017.
- [11] Ch. Hudson, D. Carruth, C. Bethel, M. Pleva, J. Juhar, A. Cizmar, *A training tool for speech driven human-robot interaction applications*, In proceedings: Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA), 2017 IEEE 15th International Conference on, Stary Smokovec, Slovakia, IEEE, pp. 167–172, 2017.
- [12] Ondas, S., Juhar, J., Pleva, M., Lojka, M., Kiktova, E., Sulir, M., Cizmar, A., Holcer, R.: “Speech technologies for advanced applications in service robotics,” *Acta Polytechnica Hungarica*, 10 (5), pp.45–61, 2013.
- [13] D. Amodei, Ananthanarayanan, S., Anubhai, R., Bai, J., Battenberg, E., Case, C., Casper, J., Catanzaro, B., Cheng, Q., Chen, G. and Chen, J., et al.; *Deep speech 2: End-to-end speech recognition in English and Mandarin*. In International Conference on Machine Learning, pp. 173–182, 2016, June.

# Úspora elektrickej energie vo verejnom osvetlení pre triedy M1 až M6

<sup>1</sup>Emanuel TOMIQ, <sup>2</sup>Marek PAVLÍK

<sup>1</sup> Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika.

<sup>1</sup>emanuell.tomiq@student.tuke.sk, <sup>2</sup>marek.pavlik@tuke.sk

**Abstrakt** — Tento článok rieši problematiku úspory elektrickej energie vo verejnom osvetlení. Vysvetlenie súboru noriem pre návrh verejného osvetlenia STN EN 13201 a svetelno-technické parametre sú dôležitým krokom k pochopeniu požiadaviek verejného osvetlenia. Pomocou týchto poznatkov sú následne rozoberané rôzne návrhy verejného osvetlenia, ktoré sa potom použijú na vytvorenie databázy, ktorá umožní používateľom vypočítať približný počet nových LED svietidiel potrebných pre rôzne druhy cestných situácií. Následne tieto výsledky môžu pomôcť pri výpočte novej úspory elektrickej energie.

**Kľúčové slová** — osvetlenie, databáza, návrh osvetlenia, norma, svietidlo, úspora

## I. ÚVOD

Za posledné roky sa pristúpilo k výraznému znižovaniu nákladov na elektrickú energiu. Snáď najväčšou oblasťou, kde bol zaznamenané znižovanie nákladov je oblasť svetelnej techniky, konkrétne oblasť verejného osvetlenia. Dnešné svetelné zdroje aj svietidlá sú podstatne účinnejšie. V kombinácii s možnosťou regulácie osvetlenia sa účinnosť osvetľovacích sústav zvyšuje ešte viac. Ak sa uvažuje o rekonštrukcii verejného osvetlenia s cieľom dosiahnutia ušetrenia energie, malo by sa v prvom rade prihliadať na dosiahnutie správneho osvetlenia. Často to môže znamenať zvýšenie aktuálneho počtu svetelných miest, alebo zvýšenie svetelného výkonu, alebo úpravu geometrie verejného osvetlenia. V dnešnej dobe sú verejné osvetlenia realizované najmä vysokotlakými výbojkami a posledné roky LED svietidlami.

## II. STN NORMY PRE NÁVRH OSVETLENIA

Vo všeobecnosti sa pre návrh verejného osvetlenia používa súbor noriem STN 13201, ktorá je rozdelená do viacerých častí.

Normy STN EN 13201-1 a STN EN 13201-2 sú normy, ktoré sa nezaobierajú priamou realizáciou návrhu, ale hlavne samotným návrhom a projekciou verejného osvetlenia. Tieto normy stanovujú triedy osvetlenia a ich svetelno-technické požiadavky. Cieľom stanovenia tried osvetlenia je definovanie minimálnych, resp. maximálnych svetelno-technických požiadaviek kladených pre jednotlivé situácie [1][2][3].

STN EN 13201-1 obsahuje návod na výber tried osvetlenia. Návod je použiteľný na pevné osvetľovacie zariadenia, ktoré majú zabezpečovať používateľom verejných pozemných komunikácií dobrú viditeľnosť počas tmy, bezpečnosť cestnej premávky a majú prispievať k pocitu bezpečnosti [1].

STN EN 13201-2 je časť európskej normy STN EN 13201, ktorá definuje na základe požiadaviek na danú komunikáciu triedy osvetlenia pozemných komunikácií [2].

Triedy M sú určené pre vodičov motorových vozidiel alebo užívateľov pozemných komunikácií s povolenými priemernými až vysokými jazdnými rýchlosťami. Hlavné kritérium osvetlenia týchto tried sa zakladá na jase povrchu vozovky a zahŕňa priemerný jas vozovky, ako aj celkovú pozdĺžnu rovnomernosť jasu suchého povrchu vozovky. Ďalším kritériom je zníženie obmedzujúceho oslnenia. Triedy M obsahujú šesť stupňov ktoré majú svoje vlastné svetelno-technické požiadavky (viď Obr. 1). Kategorizácia týchto stupňov je nepriamo úmerná, čo znamená, že nižším číslom sa určuje vyššia trieda osvetlenosti [2][4].

Triedy C sú tiež určené pre vodičov motorových vozidiel, a to v kolíznych úsekoch, ako sú nákupné centrá, zložité križovatky, okružné križovatky a čakacie úseky pred križovatkou a pod., kde sa konvenčné výpočty jas a povrchu vozoviek nepoužívajú alebo sú neuskutočniteľné. Kritéria sú založené na horizontálnej osvetlenosti spriemerovanej na povrchu vozovky a celkovej rovnomernosti osvetlenosti. Tieto triedy osvetlenia sa môžu použiť aj na komunikáciách pre chodcov a cyklistov. Triedy C sa rozdeľujú na šesť stupňov, ktoré majú tiež svoje svetelno-technické parametre [1][2].

Triedy P sú určené na osvetlenie chodníkov a cyklistických komunikácií, na osvetlenie núdzových pruhov a iných priestorov pozemných komunikácií, navrhnutých oddelene alebo pozdĺž jazdného pásu cestnej komunikácie a ďalej na osvetlenie miestnych komunikácií, peších zón, parkovísk, školských dvorov a pod. Triedy C obsahujú šesť stupňov [1][2].

| Parameter                   | Options                                     | Description <sup>a</sup>  |  | Weighting Value $V_w^a$ |
|-----------------------------|---|---|--|-------------------------|
| Design speed or speed limit | Very high                                   | $v \geq 100$ km/h   |  | 2                       |
|                             | High  | $70 < v < 100$ km/h   |  | 1                       |
|                             | Moderate                                    | $40 < v \leq 70$ km/h   |  | -1                      |
|                             | Low   | $v \leq 40$ km/h  |  | -2                      |
| Traffic volume              |   | Motorways, multilane routes   | Two lane routes                            |                         |
|                             | High  | > 65 % of maximum capacity  | > 45 % of maximum capacity                 | 1                       |
|                             | Moderate                                    | 35 % - 65 % of maximum capacity   | 15 % - 45 % of maximum capacity            | 0                       |
|                             | Low   | < 35 % of maximum capacity  | < 15 % of maximum capacity                 | -1                      |
| Traffic composition         | Mixed with high percentage of non-motorised |   |  | 2                       |
|                             | Mixed                                       |   |  | 1                       |
|                             | Motorised only                              |   |  | 0                       |
| Separation of carriageway   | No  |   |  | 1                       |
|                             | Yes   |   |  | 0                       |
| Junction density            |   | Intersection/km   | Interchanges, distance between bridges, km |                         |
|                             | High  | > 3   | < 3  | 1                       |
|                             | Moderate                                    | $\leq 3$  | $\geq 3$                                   | 0                       |
| Parked vehicles             | Present                                     |   |  | 1                       |
|                             | Not present                                 |   |  | 0                       |
| Ambient luminosity          | High  | shopping windows, advertisement expressions, sport fields, station areas, storage areas |  | 1                       |
|                             | Moderate                                    | normal situation  |  | 0                       |
|                             | Low   |   |  | -1                      |
| Navigational task           | Very difficult                              |   |  | 2                       |
|                             | Difficult                                   |   |  | 1                       |
|                             | Easy  |   |  | 0                       |

Obr. 1 Parametre pre výber stupňa triedy M [1]

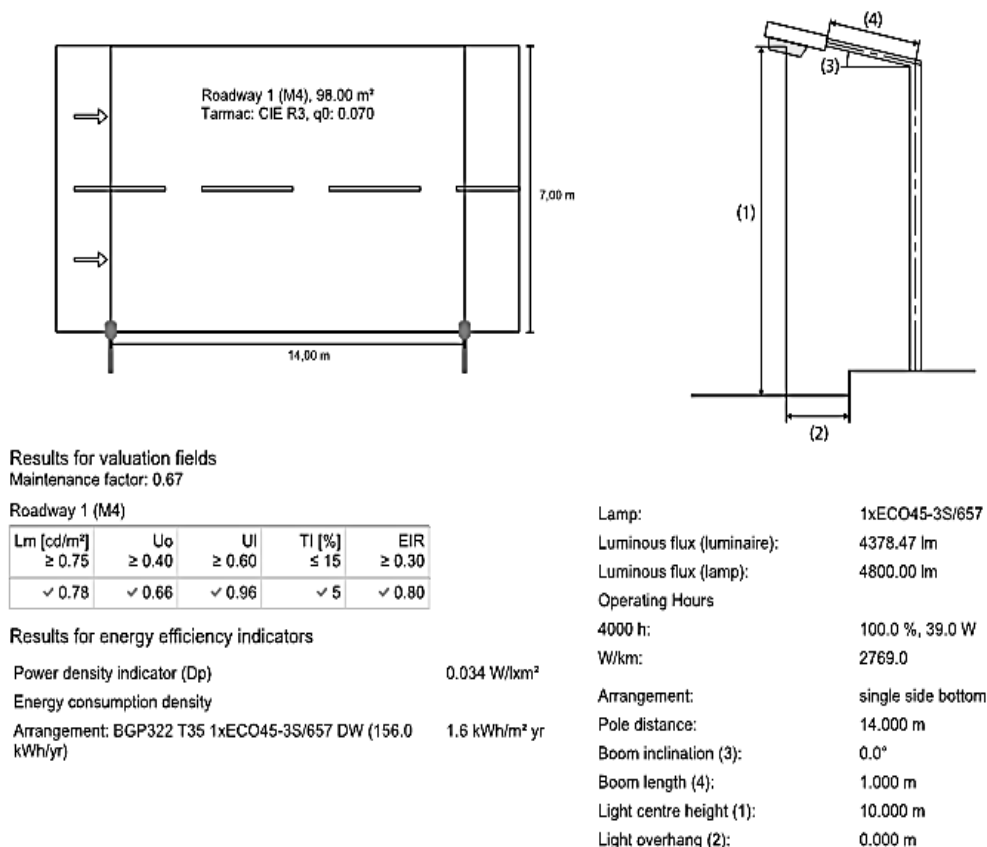
### III. SIMULÁCIE NÁVRHU OSVETLENIA PRE TRIEDU M

Návrhy pre osvetlenie boli realizované pomocou DiaLux Evo a jednou z možností tohoto programu je optimálne vypočítanie vzdialenosti medzi svietidlami tak, aby svetelno-technické požiadavky boli dodržané. Tieto optimalizačné výpočty prebehli na všetkých typoch ciest zakomponovaných v týchto návrhoch a to pomocou 5 rôznych dĺžkach stĺpov  $h$  (8 m, 9m, 10m, 11m, 12m).

Uhol naklonenia svietidla  $u$  je v prípade jednoduchej dvojprúdovej cesty je  $u = 0^\circ$ , keďže tento uhol vykazuje najvyššie vzdialenosti medzi svietidlami. Dĺžka ramena je 1m a vzdialenosť



stožiaru od kraja vozovky taktiež 1m (vid' Obr. 2). Hodnoty vo vnútri tabuľky sú vzdialenosti d(m) medzi svietidlami pre všetky možné dĺžky stožiarov a pre všetky vybrané svietidla (vid' Tab. 1)



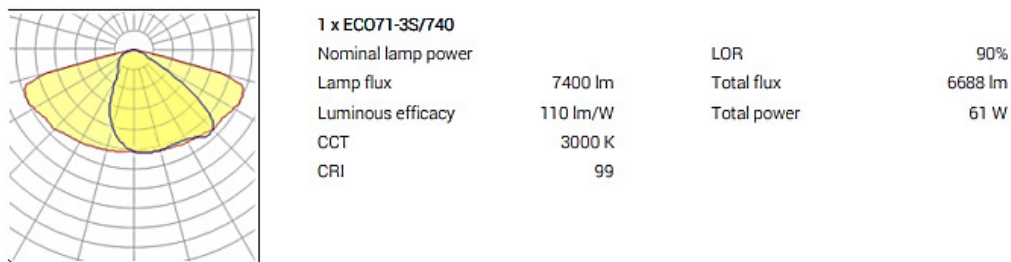
Obr. 2 Příklad jednoduchej dvojprúdovej cesty triedy M4

Ako je vidieť v Tab. 1, niektoré vzdialenosti medzi svietidlami nie sú prakticky realizovateľné. To je hlavne viditeľné pri nižších triedach, kde vzdialenosti medzi svietidlami dosahujú veľmi nízku hodnotu. V takýchto situáciách by to bolo konštrukčne náročné a finančne nákladné. Riešením by mohlo byť využitie svietidiel s vyšším výkonom a teda aj s vyšším svetelným tokom. Pre nižšie triedy M3 až M6 tento problém nevzniká a vzdialenosti sú realizovateľné. Najlepšie výsledky dosahujú svietidlá s krivkou svetivosti, ktorá naznačuje, že svetelný tok svietidla je rovnomerný do oboch strán (Obr.3).

Výsledky prezentované v Tab.1 je možné použiť pri rýchlom, nie však presnom návrhu osvetlenia. V praxi sa totiž pri čerpaní eurofondov pre obnovu verejného osvetlenia stáva, že starostovia miest a obcí iba zrealizujú výmenu svetelného zdroja formou kus za kus. Avšak z pohľadu STN noriem takýto postup nepostačuje. Predmetná tabuľka je preto rýchlou pomôckou pre to, ako by malo byť verejné osvetlenie realizovateľné a či nie je potrebné doplniť osvetľovaciu sústavu o ďalšie svetelné body (aj o stožiare verejného osvetlenia). V obciach kde je verejné osvetlenie zastaralé sú stožiare verejného osvetlenia vzdialené od seba niekedy aj 80-100 m, čo nevyhovuje súčasne platných STN normám.

Tabuľka 1  
 Optimálne vzdialenosti medzi svietidlami v jednoduchej dvojprúdovej vozovke triedy M pri päť rôznych dĺžkach stĺpov

|          | h (m) | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
|----------|-------|----|----|----|----|----|
| ECO71 DW | M1    | 9  | 8  | 8  | 7  | 7  |
|          | M2    | 13 | 11 | 11 | 10 | 9  |
|          | M3    | 19 | 18 | 16 | 15 | 14 |
|          | M4    | 26 | 24 | 22 | 20 | 19 |
|          | M5    | 39 | 36 | 33 | 31 | 29 |
|          | M6    | 45 | 50 | 56 | 53 | 49 |



Obr. 3 Krivka svietivosti svetidla použitého pri simuláciách

#### IV. ZÁVER

Tento príspevok demonštruje použitie simulačného softvéru Dialux EVO pre návrh verejného osvetlenia. Simulácie boli zamerané pre návrh osvetlenia pozemnej komunikácie s triedou M1 až M6.

Príspevok poukazuje aj na chyby, ktoré môžu viesť k neekonomickému návrhu osvetlenia, resp. k návrhu osvetlenia, ktoré nie je v súlade so súčasne platnými STN normami.

Program Dialux Evo navrhne sice osvetlenie podľa súčasne platnej STN normy, avšak niektoré návrhy nie sú prakticky realizovateľné. Je to najmä kvôli malej vzdialenosti medzi jednotlivými stožiarimi. Takýto návrh by v praxi znamenal príliš vysoké investičné náklady, ktoré by sa aj pri výmene svetelných zdrojov za LED nevrátili. Z tohto dôvodu je potrebné jednotlivé návrhy brať ako čiastočnú pomoc a nie ako konečný návrh osvetlenia. Výsledná tabuľka by mohla pomôcť pre rýchly pohľad na to, ako by mal byť približne návrh realizovaný. Táto pomôcka by mala hlavne poukázať na častú chybu pri rekonštrukcii verejného osvetlenia, kedy rekonštrukcia pozostáva len z výmeny svetelných zdrojov. Zabúda sa však na to, že rozpätia stožiarov nemusia postačovať a umiestnenie svetelných bodov a pre splnenie svetelno-technických požiadaviek, ktoré sú pri veľkých rozpätiach len ťažko realizovateľné.

#### POĎAKOVANIE

Táto práca vznikla vďaka podpore udeľovania grantu FEI FEI-2018-54 Vplyv materiálov na prienik elektromagnetického poľa.

#### LITERATÚRA

- [1] STN EN 13201-1 Osvetlenie pozemných komunikácií. Časť 1: Výber tried osvetlenia
- [2] STN EN 13201-2 Osvetlenie pozemných komunikácií. Časť 2: Svetelnotechnické požiadavky
- [3] D. Kľuvanec, B. Lacsny, Monika Hanáková, Omar Al-Shantir, LED – zaujímavé a atraktívne svetelné zdroje vo vyučovaní fyziky, Tvorivý učiteľ fyziky VIII, Smolenice 7. - 9. apríl 2015 [online], [cit. 24. 6. 2018]. Dostupné na: [https://ufv.science.upjs.sk/\\_projekty/smolenice/pdf\\_15/18\\_klivanec\\_kol.pdf](https://ufv.science.upjs.sk/_projekty/smolenice/pdf_15/18_klivanec_kol.pdf)
- [4] M. Špes, L. Beňa, M. Mikita, M. Vojtek a Michal Márton. Určenie svetelno-technických parametrov sústavy verejného osvetlenia meraním a využitie pre prax - ELEKTROENERGETIKA, Vol. 9, No. 1, 2016 - ISSN: 1337-6756

# PREDICTIVE MODELLING OF DATA FROM AIR TRAFFIC

*Marek KUNŠTÁR, Peter BEDNÁR*

Technical University of Košice, Faculty of electrical engineering and informatics,  
Department of Cybernetics and Artificial Intelligence (KKUI)

<sup>1</sup>peter.bednar@tuke.sk, <sup>2</sup>marek.kunstar@student.tuke.sk

**Abstract** — The diploma thesis is designed to analyze the use of machine learning and data analytics in the aviation industry. The main goal of thesis is to create a classification predictive model designed to predict flight delays at a landing airport in order to allow TUI Group to make needed precautions and thereby reduce customer compensation costs under EU Regulation 261/2004. Models for classification of on-time performance (delay up to 15 minutes) are created for the TUI Group Company. Trained models are created using Random Forest algorithm, implemented in Python programming language. For training, data from the company itself is used as well as a sample of data from the US aviation industry, where the effects of various aggregated and added attributes on the accuracy of prediction are tested in order to propose suggestion to the company to integrate similar attributes to their data and by this way increase the chances of successful prediction of delays that could bring company a competitive advantage in the form of reduced costs for customer compensation. The accuracy of the best trained models is around 82% with a 50% delayed flight prediction capability while maintaining the original data distribution.

**Key words** — Data analytics, Machine learning, Classification, Prediction, Aviation, Delay, Costs reduction

## I. INTRODUCTION

Delay is an important indicator of the quality of service in any transportation system. It drives the decision-making process of all players in the commercial aviation industry. It is particularly important for airlines as it is a key factor for measuring their on-time performance. The impact of flight delay on airlines is multifold, ranging from clearly defined outcomes such as compensation owed to passengers, late fines, and increased operational costs, to more intangible consequences for airline brand perception and customer loyalty. As a result of this delay, airlines suffer penalties, fines, higher rates of customer complaints, and additional operation costs such as crew and aircraft retention in airports. In this work we are focusing on delay that gives the airline additional cost in form of compensation and assistance for the passengers. Airline is entitled to do that on the basis of Regulation 261/2004 which amounts up to 600 € per passenger.

## II. EXISTING SOLUTIONS FOR DELAY PREDICTION

Only a few years ago, predictive analytics and prescriptive analytics were still fairly cutting-edge concepts, but in late 2018, aviation data is big business. The concept of big data and predictive maintenance has echoed around industry boardrooms for several years. In its most ideal form, massive streams of data are pumped from aircraft in real time. On the ground, networks equipped with artificial intelligence use machine learning to make sense of it all and provide actionable maintenance suggestions before a part fails.

Boeing has its AnalytX platform, providing predictive maintenance support as well as data-driven solutions for fleet scheduling, flight planning and inventory management [1]. Airbus's Skywise provides comprehensive analytics, including predictive maintenance support. An open data platform, Skywise intends to break down the industry silos that have isolated the data for aircraft monitoring and safety, flight management, maintenance and other critical workflows [2].

Prescriptive and predictive analytics can truly change the aviation industry. The real shift that needs to happen for prescriptive analytics to deliver on the promise of its capabilities is for aviation data to be more widely shared throughout the industry. Obviously, there are huge and well-founded security concerns surrounding data sharing, but when combined with a highly secure and deeply trackable technology like blockchain, prescriptive analytics could truly change the way the entire aviation industry operates, from manufacturing practices to scheduling maintenance to the supply chain.

### III. DATA SOURCES

The results of this work were obtained using multiple datasets, which we compared for benchmarking purpose and for subsequent model improvements. We tried to get the best results from the raw dataset itself then we added new attributes to the dataset that helped us to increase the accuracy and gave us a review of what impact those attributes have on the prediction of flight delay. As the first experimental dataset we used AVIATION\_FLIGHTS obtained from TUI Group, tracking flights from year 2007 to year 2018. We used the dataset FLIGHT\_DELAY\_AC\_PAX to provide more information on TUI's flight delay analysis, since this dataset involves information why was the flight delayed encoded in IATA standard codes. Since most of the datasets in the European aviation industry are private or very costly, we have experimented with testing the possible extensions of a dataset for dataset from America. It is provided by RITA - Bureau of Transportation Statistics period beginning December 2016 and ending November 2018. The dataset contains data for domestic US flights by major air carriers, providing for each flight detailed information such as origin and destination airports, scheduled and actual departure and arrival times, air time, and non-stop distance. We then extended this dataset with new attributes to improve prediction accuracy. New columns were aggregated from the basic dataset as well as by adding new attributes obtained from the weather dataset. The weather data source used in this work is the Local Climatological Data (LCD) dataset available from the National Climatic Data Center. The dataset contains hourly weather observations from 3 chosen U.S. weather stations. Each weather observation includes data about temperature, humidity, wind direction and speed, barometric pressure, sky condition, visibility and weather phenomena descriptor. All these data are freely available, so no investment by TUI was needed. Gained knowledge can help TUI decide if further investment into data would make sense in predicting the delay of flights.

### IV. SOLUTION PROPOSAL

Initiative to implement a machine learning process and data mining comes from the company itself. As mentioned before trends in aviation industry are moving more and more towards modern automated process. Implementing such processes could help the company to gain competitive advantage. This work can be described as a PoC (Proof of Concept) project which means that once implementation is complete, it will not be deployed immediately. It is used to showcase application of data analytical processes on data from aviation industry and to show advantages and disadvantages of machine learning. Whole outcome of this work will be presented to the higher management of the company.

Based on analysis of existing solutions and requirements we decided to use the CRISP-DM methodology and the Python programming language for further aviation data analysis, data preprocessing and for implementation of machine learning algorithms. Outcome of modeling process will be evaluated by confusion matrix, precision, recall and ROC curve.

### V. PREPARATION OF DATA

Data preprocessing is a data mining technique that involves transforming raw data into an understandable format. Real-world data is often incomplete, inconsistent, and/or lacking in certain behaviors or trends, and is likely to contain many errors. Data preprocessing is a must to do in order to resolve such issues. Before model training, data needs to be transformed into a suitable form for specific machine learning algorithms.

At first we have to examine how complete used datasets are. The filling percentage of rows seems to be good, since many attributes are above 99%. We can see that some attributes have 0% filling factor, but this should not bother us, since we won't be using these attributes. We remove all attributes with irrelevant data for our prediction model, because at the time of making the prediction those variables are unknown to us. We can also remove the attributes with keyword OPERATIONAL as well together with attribute carrying the same information as we already have in dataset. As a next step we need to take care of values that could influence model results, for example extreme values or the faulty ones. We filter all the extreme values if

there is not too many of them, otherwise we replace them with the most spread value across the attribute. Taking care of null values can be done by two ways. One is replacing the null values with the average or median values in certain column or the second option is to delete all these rows, since they can have influence on the results. We can afford to delete these rows, because we have kind of big dataset and loss of information in these rows is quite unlikely.

Transformation of our dataset can only help us to achieve better results, therefore we are going to perform some changes to dataset. We convert dates to pandas datetime format, which helps us to extract the exact hour, day, week, month, quarter and year the aircraft departed or arrived respectively. This transformation gives us 12 new attributes to work with and also helps us to integrate date into the machine learning process, since it cannot work with date attributes itself. We also create new attributes called DEPARTURE\_TIME\_MINUTES and ARRIVAL\_TIME\_MINUTES. These attributes are representing minutes of the day in which was the aircraft departing/arriving. Next we create column LENGTH\_OF\_FLIGHT that is representing scheduled length of flight in minutes, by difference between SCHEDULED\_ARRIVAL\_DATETIME and SCHEDULED\_DEPARTURE\_DATETIME. As last step we need to take care of some attributes, because it contains a messy values and it requires unification, so valuable information won't be lost. As a last thing before modeling we take a look at correlation, specifically we calculate spearman correlation coefficient and based on those values we remove attributes, which could impact the final prediction model.

We repeat those steps even for experimental dataset, so we are able to benchmark the results. As addition to that we aggregate new attributes and join another dataset to get potentially valuable information involved. Added attributes can be seen in following table.

|    | Attribute                        | Type    | Short description   |
|----|----------------------------------|---------|---|
| 0  | SPACE_DEPARTURE_6MIN             | int64   | Scheduled departures within 6 minutes when departing                |
| 1  | SPACE_DEPARTURE_16MIN            | int64   | Scheduled departures within 16 minutes when departing               |
| 2  | SPACE_DEPARTURE_30MIN            | int64   | Scheduled departures within 30 minutes when departing               |
| 3  | SPACE_ARRIVAL_6MIN               | int64   | Scheduled arrivals within 6 minutes when landing                    |
| 4  | SPACE_ARRIVAL_16MIN              | int64   | Scheduled arrivals within 16 minutes when landing                   |
| 5  | SPACE_ARRIVAL_30MIN              | int64   | Scheduled arrivals within 30 minutes when landing                   |
| 6  | SPACE_DEPARTURING_ARRIVALS_6MIN  | int64   | Scheduled arrivals within 6 minutes when departing                  |
| 7  | SPACE_DEPARTURING_ARRIVALS_16MIN | int64   | Scheduled arrivals within 16 minutes when departing                 |
| 8  | SPACE_DEPARTURING_ARRIVALS_30MIN | int64   | Scheduled arrivals within 30 minutes when departing                 |
| 9  | SPACE_ARRIVING_DEPARTURES_6MIN   | int64   | Scheduled departures within 6 minutes when landing                  |
| 10 | SPACE_ARRIVING_DEPARTURES_16MIN  | int64   | Scheduled departures within 16 minutes when landing                 |
| 11 | SPACE_ARRIVING_DEPARTURES_30MIN  | int64   | Scheduled departures within 30 minutes when landing                 |
| 12 | DELAYED_PREV_DAY                 | int64   | How many aircrafts were not on time last day                        |
| 13 | DELAYED_PREV_3_DAYS              | int64   | How many aircrafts were not on time last 3 days                     |
| 14 | DEPARTURE_TIME_MINUTES           | int64   | Departure time converted into minutes                               |
| 15 | ARRIVAL_TIME_MINUTES             | int64   | Arrival time converted into minutes                                 |
| 16 | PART_OF_DAY                      | object  | Parts of day when did aircraft land based on arrival hour quartiles |
| 17 | TAXI_IN_TIME                     | object  | Groups by time that aircraft needs to park after landing            |
| 18 | HourlyAltimeterSetting           | float64 | Altimeter setting   |

|    |                           |         |                              |
|----|---------------------------|---------|------------------------------|
|    |                           | 4       |                              |
| 19 | HourlyDewPointTemperature | float64 | Dew point temperature        |
|    |                           | 4       |                              |
| 20 | HourlyDryBulbTemperature  | float64 | Dry bulb temperature         |
|    |                           | 4       |                              |
| 21 | HourlyPressureChange      | float64 | Pressure change in last hour |
|    |                           | 4       |                              |
| 22 | HourlyPressureTendency    | float64 | Pressure tendency            |
|    |                           | 4       |                              |
| 23 | HourlyRelativeHumidity    | float64 | Relative humidity            |
|    |                           | 4       |                              |
| 24 | HourlySeaLevelPressure    | float64 | Sea level pressure           |
|    |                           | 4       |                              |
| 25 | HourlyVisibility          | float64 | Visibility                   |
|    |                           | 4       |                              |
| 26 | HourlyWetBulbTemperature  | float64 | Wet bulb temperature         |
|    |                           | 4       |                              |
| 27 | HourlyWindDirection       | float64 | Wind direction               |
|    |                           | 4       |                              |
| 28 | HourlyWindSpeed           | float64 | Wind speed                   |
|    |                           | 4       |                              |

Table 1: Added attributes

## VI. MODELING

For modeling we use the Scikit-learn library to create models. This library implements many Python machine learning algorithms such as classification, regression or clustering. Scikit-learn also allows data pre-processing and data set size reduction. It is licensed under BSD license. Random forest classification algorithm is our choice for following experiments.

Before the modeling we have to split dataset into training and testing set. We will be using 80:20 ratio for this purpose with `random_state` set to 11, so every time we have the same testing set and that allows us to compare and benchmark trained models. For the algorithm itself we use python package called `sklearn RandomForestClassifier`. Since default parameters are rarely the best ones, we use method called `GridSearchCV`. The grid search provided by `GridSearchCV` exhaustively generates candidates from a grid of parameter values specified with the `param_grid` parameter inside the function. This process will take some time to complete, but when it's done, we can be sure that we have the best parameters for our current dataset. For training and first model „evaluation“ we use 10-fold Cross-Validation.

We perform 5 separate experiments. As first experiment we train model for the data given by the company itself, purpose of this experiment is to try to get the best possible results without addition of new attributes. In second experiment we train two models for both datasets, without additional aggregated columns so we can compare similarity between both datasets. In third experiment we train model with US data split locally for 3 busiest airports in the dataset. We are performing model training on the enhanced dataset, with attributes to simulate air traffic, this step could help us to find hidden correlations and improve model performance. For our fourth experiment we use dataset from experiment number 3 extended by attributes that should be representing recent situation on the airport. As our last experiment, we try to enhance our so far trained model with simple weather data gathered from the airports. After joining downloaded weather dataset with our data and few preprocessing transformations, we have successfully added these columns.

## VII. EVALUATION

The evaluation phase, according to the CRISP-DM methodology, mainly deals with the evaluation of the models created and the verification of the accomplishment of business requirements. We have met all the functional requirements except one: the requirement for high-precision models, closely related to the quality of the models created. On the following table we can see sum up of all experiments done on dataset split by 3 busiest airports. We have excluded experiments done on TUI data, since our main focus was to confirm that additional aggregations, transformations and joining weather data have big potential in prediction accuracy improvement.

| Exp. | Data | Accuracy | Precision | Precision | Recall | Recall | f1 On | f1 |
|------|------|----------|-----------|-----------|--------|--------|-------|----|
|------|------|----------|-----------|-----------|--------|--------|-------|----|

|   |         | On time | Delayed | On time | Delayed | time | Delayed |      |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|------|---------|------|
| 2 | Atlanta | 0.693   | 0.89    | 0.24    | 0.74    | 0.48 | 0.81    | 0.32 |
| 2 | Chicago | 0.632   | 0.86    | 0.28    | 0.66    | 0.55 | 0.75    | 0.37 |
| 2 | LA      | 0.69    | 0.85    | 0.37    | 0.73    | 0.55 | 0.79    | 0.44 |
| 3 | Atlanta | 0.732   | 0.9     | 0.28    | 0.77    | 0.5  | 0.83    | 0.36 |
| 3 | Chicago | 0.714   | 0.88    | 0.35    | 0.75    | 0.56 | 0.81    | 0.43 |
| 3 | LA      | 0.721   | 0.86    | 0.4     | 0.77    | 0.54 | 0.81    | 0.46 |
| 4 | Atlanta | 0.766   | 0.9     | 0.32    | 0.81    | 0.51 | 0.86    | 0.39 |
| 4 | Chicago | 0.721   | 0.88    | 0.35    | 0.75    | 0.57 | 0.82    | 0.43 |
| 4 | LA      | 0.75    | 0.86    | 0.44    | 0.81    | 0.53 | 0.81    | 0.48 |
| 5 | Atlanta | 0.819   | 0.91    | 0.42    | 0.88    | 0.5  | 0.89    | 0.45 |
| 5 | Chicago | 0.826   | 0.87    | 0.57    | 0.92    | 0.42 | 0.89    | 0.48 |
| 5 | LA      | 0.771   | 0.86    | 0.44    | 0.81    | 0.53 | 0.83    | 0.48 |

Table 2: Results of all experiments

The on-time performance classification for Hartsfield–Jackson Atlanta International Airport reached an average F1 rate of 67.5%, while keeping F1 rate for majority class high and minority class F1 in decent numbers considering complexity of such classification problem. Precision for delayed flights is around 50% which means that model classifies for one delayed flight one non-delayed flight incorrectly. This can be interpreted as fact that for every 2 flights classified as delayed, only one of them is actually delayed, therefore we can say that these 2 flights could be marked as “risky” and some precautions could be potentially taken to prevent this delay while flight planning and by this way reduce potential costs for denied boarding compensations.

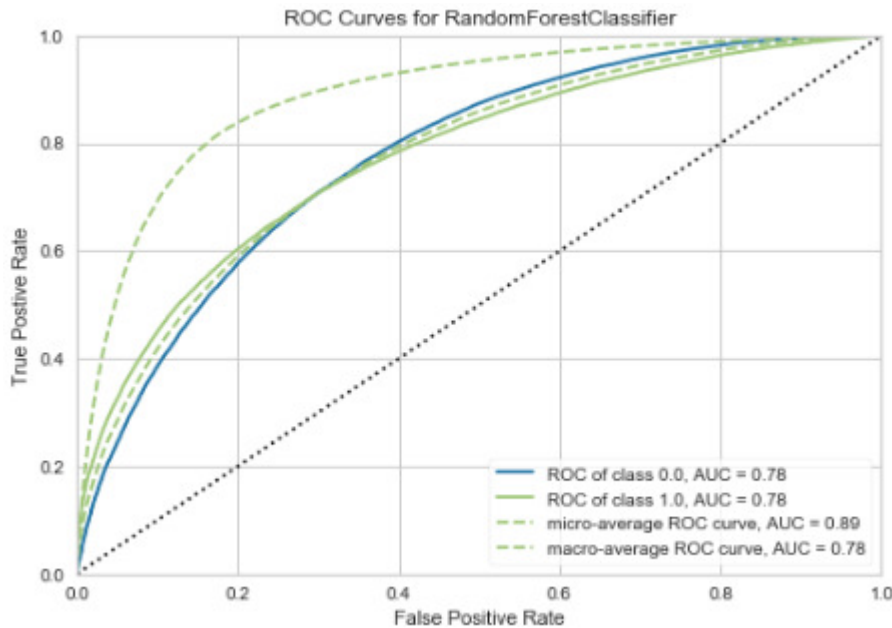


Figure 1: ROC curve - best scoring model for Atlanta airport

From the business point of view, more accurate prediction of delayed flight is more important, since this can prevent additional costs for the airline. If prediction is made that the flight will be delayed and it will not be delayed, TUI will not have any problems except using resources for precautions. However, making many faulty predictions like this could cause chaos and too many resources spent for preventive actions that were not necessary so finding a good balance between successful and unsuccessful prediction was necessary. Model should not predict more than 30% of delayed flights, when in reality on time performance is somewhere around 23%. We have to accept the fact that not every delay could be predicted with data available. The False Negative value in the confusion matrix of experiments is higher than the False Positive value, which means that models cannot correctly recognize all delayed flights.

Possible causes for lower model performance are:



- The data contained flights delayed by many causes, which could potentially decrease model performance because classification algorithm was not able to fit properly
- Same parameters were used for training of all models (generated parameters for first model training might not be the best ones after adding aggregated or joined columns)
- Attributes of various types with a high number of unique, diverse values
- Neither attribute was strongly correlated with the target attribute
- Uneven distribution of target class values
- Weather data was used only for destination airport and many studies shown that weather has bigger impact on delays for departure airport

## VIII. CONCLUSION

The best scoring prediction model achieved the accuracy of almost 83% after cross validation. A good balance between successful and unsuccessful prediction was found and model was performing quite well. Even though results do not meet the set requirements for accuracy, but we have successfully implemented and confirmed our hypothesis that addition of such attributes is beneficial for delay prediction. In the future addition of meteorological data for departure airport and some data related to ground operations, like ground crew performance should be added to increase accuracy as well or creating model specifically to predict delays of one type. Detected data sample deficiencies will help the company to improve data quality and consequently improve the success of the models being created.

Created models and experiments could be possibly a first step for deployment as decision support system for dispatchers while flight planning. The experience gained will enable us to learn from the mistakes and to adapt the strategy in the development of future models.

## REFERENCES

- [1] BOEING: Boeing Analytix [online]. [cit. 2019-02-28]. Available on internet: <https://www.boeing.com/company/key-orgs/analytix/index.page>
- [2] AIRBUS: Skywise [online]. [cit. 2019-02-28]. Available on internet: <https://www.airbus.com/aircraft/support-services/skywise.html>

# 2-vrstvový model siete pre budúce 5G siete a IoT

<sup>1</sup>Dávid HRABČÁK, <sup>2</sup>Lubomír DOBOŠ

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

<sup>1</sup>david.hrabcak@tuke.sk, <sup>2</sup>lubomir.dobos@tuke.sk

**Abstrakt** – V tomto príspevku bude predstavený koncept 2-vrstvového smerovania pre bezdrôtové 5G siete. Nová piata generácia sietí spolu s platformou známou ako Internet vecí (IoT), sú nadchádzajúcim trendom nielen na komerčnom trhu, ale aj v oblasti výskumu. Siete 5G a Internetu vecí budú súčasťou inteligentných domov, inteligentných miest a všetkých aspektov nášho života. Považujú sa za sľubnú technológiu, ktorá prepojí rôzne typy existujúcich sietí do jednej funkčnej siete. V tomto príspevku bude opísaná stručná vízia využitia a oblastí nasadenia 2-vrstvového sieťového modelu pozostávajúceho z bezdrôtovej senzorovej siete (WSN) a mobilnej Ad-Hoc siete (MANET) spolu s komunikačnými technológiami a protokolmi potrebnými pre funkčnosť 2-vrstvového modelu siete. Prezentované simulácie v príspevku dokazujú, že prepojenie siete MANET so sieťou WSN poskytuje rýchlejšie doručenie dát a vyššie prenosové rýchlosti než tradičná WSN sieť, pretože prepojením sietí dokážu uzly MANET preniesť dátové zaťaženie z WSN senzorov. Využitie prezentovaného 2-vrstvového modelu bude preto užitočné pri katastrofických scenároch alebo zbere údajov, keď je potrebné rýchlo doručiť urgentné dáta.

**Kľúčové slová** – 2-vrstvový model, MANET, WSN, 5G, Internet vecí, IoT

## I. ÚVOD

Svet sa pomaly pripravuje na novú generáciu 5G sietí. Patrí sem aj nová komunikačná platforma známa ako Internet vecí. Hlavným cieľom internetu vecí je, aby bol internet čoraz komplexnejší, inteligentnejší a všadeprítomný. Siete 5G a IoT sú považované za sľubnú technológiu, ktorá prepojí rôzne typy sietí. Široká škála heterogénnych zariadení bude fungovať v tejto novej generácii sietí pod rôznymi typmi aplikácií [1]. Zariadenia, ako sú smartfóny, PC, senzory, RFID a rôzne sieťové zariadenia budú spolupracovať v niekoľkých oblastiach, ako sú inteligentné domy, priemyselná automatizácia, mobilná zdravotná starostlivosť a inteligentné mestá. S cieľom vytvorí takýto komplexný sieťový systém, rôzne typy sietí, ako sú mobilné Ad-Hoc siete (MANET), bezdrôtové senzorové siete (WSN), sociálne siete vozidiel (VSN) a lietajúce siete (FlyNET) budú spolupracovať v rôznych hierarchiách a vytvoria tak jednu funkčnú sieť. Toto konvergenčné prostredie s heterogénnymi zariadeniami umožňuje novú komunikáciu medzi zariadeniami (Device-to-Device - D2D) zavedenú spolu s 5G sieťami, ktoré sú tiež súčasťou IoT prostredia. Konvergenčné scenáre tiež pomáhajú prekonať obmedzenia tradičných sietí MANET alebo WSN a pomáhajú zvýšiť rýchlosť prenosu dát, znížiť latenciu, energetickú účinnosť a podobne.

Ďalšou oblasťou sietí novej generácie, kde je potrebná konvergencia a prepojenie rôznych typov sietí, sú katastrofické scenáre [2]. V prírode a celkovo vo svete sa môžu vyskytnúť rôzne druhy katastrof, ako sú zemetrasenia, cunami, výbuch sopky, intenzívne záplavy alebo hurikán. Aby sa predišlo týmto scenárom, vynakladá sa veľké úsilie na rozoznávanie a predpovedanie výskytu prírodných katastrof. V týchto prípadoch je veľmi dôležité rýchlo reagovať a preto konvergencia WSN, MANET alebo FlyNET by mohla pomôcť dosiahnuť tento cieľ. Táto viacvrstvová sieť môže byť užitočná aj vtedy, keď je zničená všetka existujúca pevná infraštruktúra. Záchranným tím môže reagovať a fungovať veľmi efektívne z dôvodu jednoduchého a rýchleho nasadenia, samoorganizujúcich sa a autonómnych vlastností uvedených sietí.

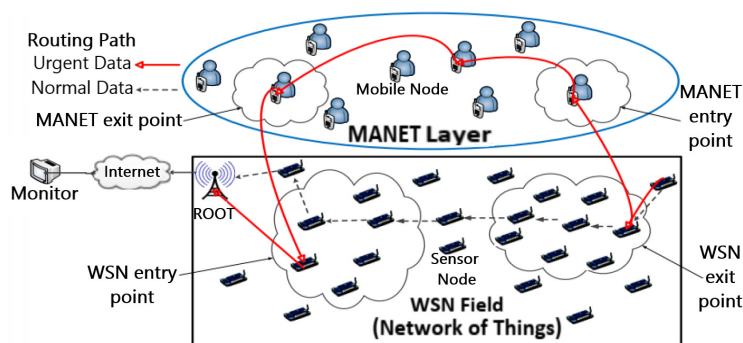
Všeobecne je nová generácia sietí sama o sebe ambicióznym projektom, ktorý prináša aj množstvo rôznych problémov. Všetky uvedené siete pracujú pod rôznymi typmi technológií a sieťových protokolov. Preto je veľmi dôležité špecifikovať, ako budú tieto rôzne siete spolupracovať a ako je potrebné zmeniť sieťové protokoly, aby bola umožnená efektívna a rýchla komunikácia. Ďalší problém nastáva v oblasti zberu údajov. Veľa senzorov a sieťových zariadení bude fungovať v prostrediach, ako sú inteligentné mestá, inteligentné domy a mobilná zdravotná starostlivosť.

Množstvo zozbieraných dát bude obrovské a okrem vysokej šírky pásma, priepustnosti a ďalších parametrov kvality siete (QoS) bude veľmi dôležité tieto údaje efektívne spracovávať.

Preto budú v tomto príspevku predstavené rôzne spôsoby prepojenia rozličných typov sietí do jednej funkčnej viacvrstvovej siete, ktorá môže byť nasadená v rôznych oblastiach. Diskutovať sa bude aj o analýze problémov, ktoré vyplývajú z takéhoto prepojenia. Simulácie predstaveného konceptu 2-vrstvového modelu siete a výsledky budú predstavené na konci príspevku.

## II. VYUŽITIE VIACVRSTVOVÝCH MODELOV SIETÍ

V posledných rokoch začali výskumníci skúmať spôsoby prepojenia rôznych typov sietí a najnovšie práce ukazujú spoluprácu týchto sietí v rôznych oblastiach nasadenia. Hlavným cieľom prepojenia rôznych typov sietí je využiť výhody, ktoré tieto siete ponúkajú a prekonať ich nevýhody. V článku [3] autori kombinujú WSN a MANET ako scenár založený na princípoch IoT. Táto kombinácia umožňuje používateľom veľkú mobilitu, flexibilitu a znižuje náklady na zostavenie siete. Sieť WSN sa skladá z veľkého množstva lacných snímačov ľahko nasaditeľných v rôznych prostrediach. Sieť MANET pozostáva z bezdrôtových zariadení, ktoré prenášajú hlavne ľudí. WSN vytvára inteligentné interaktívne prostredie, ale väčšina uzlov je pevná a pracuje s veľmi obmedzenými energetickými zdrojmi a nízkymi prenosovými rýchlosťami. Na druhej strane, uzly MANET sú mobilné s vyššími schopnosťami spracovania dát, vyššími prenosovými rýchlosťami a energetickými zdrojmi, ktoré nie sú tak prísne limitované. Odosielanie urgentných dát cez WSN môže trvať dlhý čas z dôvodu nízkych prenosových rýchlostí. Namiesto smerovania dát cez WSN sieť je možné použiť bránu do MANET siete, kde je možné rýchlejšie prenášať urgentné dáta. Takýto scenár je znázornený na obr. 1.



Obr. 1 Jednoduchý konvergenčný WSN-MANET scenár pre IoT prostredie [3]

Ďalšie podobné prepojenie sietí je uvedené v článku [1]. Autori rozdelili celú architektúru siete do štyroch hierarchií, ktoré zahŕňajú WSN sieť, MANET sieť, WLAN s bránou do internetu a samotný internet. Toto sieťové IoT riešenie môže byť použité napríklad v nemocničnom riadiacom systéme. RFID sa používajú na identifikáciu pacientov a senzory WSN sú zodpovedné za monitorovanie rôznych zdravotných podmienok. Uzly MANET sú zodpovedné za zber údajov a ich zasielanie do najbližších internetových brán. Takéto sieťové riešenie znižuje oneskorenie paketových dát a znižuje spotrebu energie.

Iné práce, ako napríklad [4], kombinujú WSN, Ad-Hoc siete s bezpilotnými leteckými prostriedkami (UAV) pre aplikácie pri katastrofických scenároch. Senzory WSN sú zodpovedné za monitorovanie a zhromažďovanie údajov, zatiaľ čo UAV zbierajú dáta preletom ponad WSN senzory, čím znižujú ich prenosové zaťaženie. Niektoré práce ako napríklad [5], tiež kombinujú VSN siete, siete, Ad-Hoc siete a WSN siete do IoT scenárov. Hlavným cieľom týchto prác je vyvinúť inteligentné dopravné systémy (ITS), ktorých cieľom je predchádzanie kolíziám vozidiel, vytvorenie bezpečnejších ulíc a riadenie zápch.

Oblasť viacvrstvových sietí je stále otvorená a ide o prevažne nepreskúmanú oblasť, pričom nové oblasti využitia neustále narastajú. Siete 5G a IoT neustále prinášajú nové otázky a v budúcnosti je k ich vyriešeniu potrebný neustály výskum. Preto nude v nasledujúcej časti prezentovaný a analyzovaný koncept 2-vrstvového modelu siete z pohľadu IoT scenára.

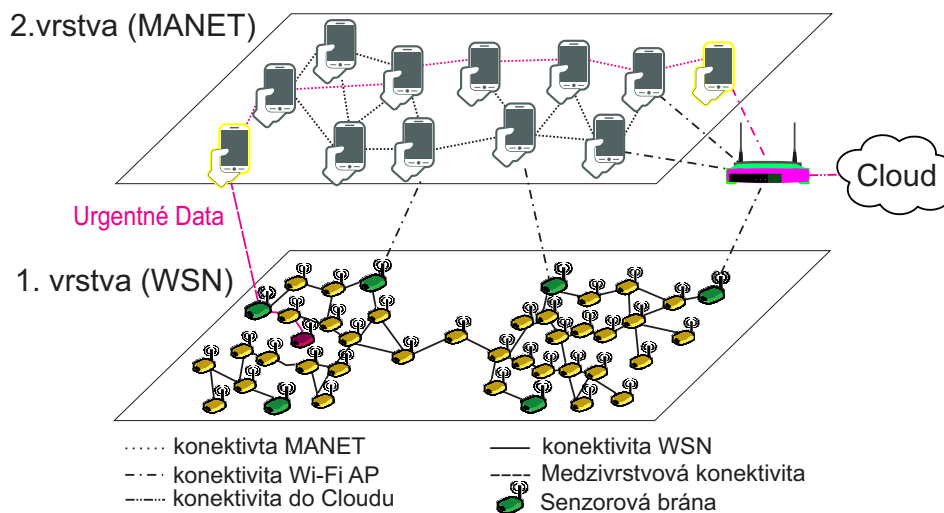
## III. ANALÝZA 2-VRSTVOVÉHO MODELU SIETI

Navrhovaný koncept 2-vrstvového modelu smerovania vznikol prepojením MANET a WSN siete. Prvá vrstva sa skladá z nízkoenergetických bezdrôtových senzorov. Tieto senzory by mohli byť umiestnené v rôznych oblastiach, ako sú inteligentné mestá na meranie dôležitých elektrických alebo neelektrických veličín. Senzory sú prepojené do WSN siete, kde pracujú Ad-Hoc režime.

Keďže senzorové uzly vo WSN vyžadujú nízku spotrebu energie a majú striktné obmedzenia zdrojov, na linkovej vrstve využívajú protokoly IEEE 802.15.4, známe tiež ako ZigBee. Preto sú senzory schopné komunikovať na vzdialenosť približne 10 metrov s maximálnou rýchlosťou prenosu dát na úrovni 250 Kbps. Najnovšie vstavané zariadenia dokážu komunikovať s nižšími prenosovými rýchlosťami od 20 až do 40 Kbps [6]. Na sieťovej vrstve bol vybraný IPv6 protokol vhodný pre senzorové brány do internetu. Na pripojenie senzorových uzlov k internetu, resp. Access Point (AP) zariadeniu je využitý protokol 6LoWPAN medzi smerovacou vrstvou a MAC vrstvou [7]. Ak je senzor štandardným uzlom WSN siete a nie je bránou do MANET siete, používa štandardné smerovacie protokoly WSN, ako je napríklad „An Energy-Aware QoS Routing Protocol“ navrhnutý v práci [8].

Druhá vrstva pozostáva z MANET uzlov. Zariadenia používané v tejto vrstve môžu byť smartfóny, laptopy, PDA a iné podobné inteligentné zariadenia. Výhody uzlov MANET voči senzorovým uzlom WSN siete sú vyššie prenosové rýchlosti okolo 72,2 až 150 Mbps, výrazne nižšie energetické obmedzenia zdrojov a tiež mobilita uzlov. Na linkovej vrstve je využitý protokol IEEE 802.11n, zatiaľ čo na sieťovej vrstve je možné využiť smerovací protokol DSR s podporou IPv6 [9].

Komunikácia medzi vrstvami je založená na vstupných bránach. Vo WSN vrstve existuje malý počet senzorových uzlov, ktoré sú zároveň bránami do siete MANET. Tieto brány sú schopné komunikovať s uzlami MANET alebo odosielať dáta priamo do Internetu / Cloudu. Táto komunikácia je umožnená na základe protokolu 6LoWPAN, ktorý je adaptuje IPv6 protokol. Senzorové brány do MANET musia používať dva protokolové zásobníky, jeden pre komunikáciu s klasickými senzormi WSN siete komunikujúcimi prostredníctvom IEEE 802.15.4 a druhý pre komunikáciu s MANET uzlami komunikujúcimi prostredníctvom IEEE 802.11n. Je tiež užitočné, ak MANET a WSN uzly využijú na transportnej vrstve protokol UDP, ktorý je jednoduchší a energeticky menej náročný ako protokol TCP. Na aplikačnej vrstve je potrebné zvoliť protokoly na základe nízkej spotreby energie a menšej zložitosti, ako je napríklad Efficient XML Interchange (EXI) [10]. S protokolom EXI je jednoduchšie komunikovať s webovými servermi cloudu s webovou stránkou založenou na XML.



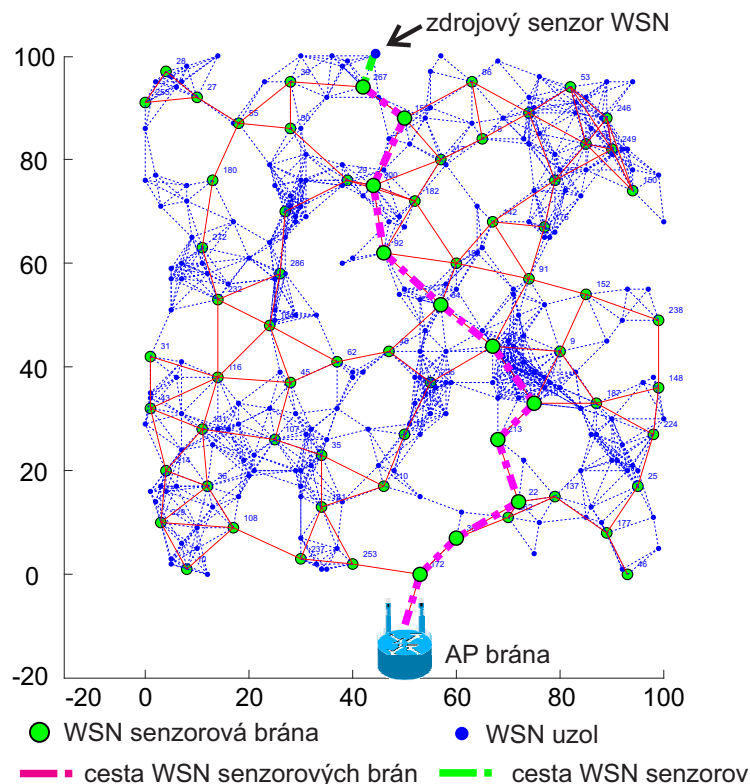
Obr. 2 Architektúra 2-vrstvového modelu siete WSN-MANET.

Architektúra 2-vrstvového modelu siete zložená z MANET a WSN siete je znázornená na obr. 2. MANET a WSN siete pracujú v obyčajných situáciách nezávisle od seba. Sensory WSN siete zhromažďujú údaje a posielajú ich prostredníctvom senzorových brán do cloudu. V naliehajúcej situácii, keď je potrebné zaslať urgentné údaje do cloudu zo zdrojového senzora, hľadá sa najbližšia senzorová brána. Tá je totižto schopná komunikovať s MANET uzlami. Urgentné údaje sa prechodom cez senzorovú bránu ďalej odosielaajú cez jednotlivé uzly MANET do cloudu, kde sú prenosové rýchlosti výrazne vyššie. Teoreticky môže toto riešenie poskytnúť oveľa rýchlejšiu reakciu na naliehavé situácie, pretože prenosové rýchlosti a priepustnosť MANET siete sú vyššie ako vo WSN sieti, kde sa urgentné údaje do cloudu doručujú s vysokým oneskorením. Senzorová brána môže využiť odosielanie dát do MANET aj v prípade, ak sú bežné senzory príliš veľa skokov od AP brány do cloudu. Tým je možné šetriť energiou a znižujú sa tiež režijné náklady WSN siete. Na overenie uvedených scenárov bude simulácia takejto komunikácie prezentovaná v nasledujúcej časti.

#### IV. SIMULÁCIE

##### A. Simulačný scenár

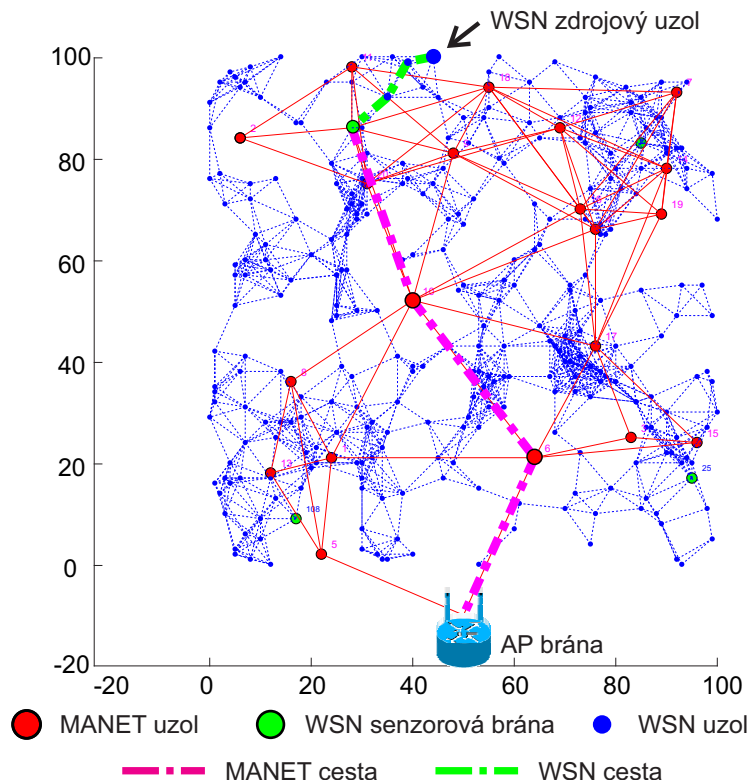
Hlavným cieľom simulácií je ukázať výhody prepojenia WSN a MANET sietí do funkčného 2-vrstvového modelu siete oproti klasickej WSN sieti. V simulačnom scenári uvažujeme o jednej AP bráne do cloudu v simulačnej oblasti o veľkosti 100 metrov štvorcových. Zdrojovým uzlom je WSN senzor na druhej strane siete od AP. Scenár simulácie skúma situáciu, keď WSN senzor potrebuje zasiať urgentné dáta do cloudu prostredníctvom klasickej WSN siete a navrhovaného 2-vrstvového modelu WSN-MANET. Scenár simulácie berie do úvahy 200, 300 a 400 senzorových uzlov vo WSN sieti a pre simulácie 2-vrstvového modelu WSN-MANET navyše 20 MANET uzlov. Smerovací protokol založený na [8] sa používa v simulácii WSN siete, kde klasický senzor hľadá najbližší senzor brány WSN, ktorý smeruje dáta cez ostatné senzorové brány do AP. V scenári WSN-MANET klasický senzor taktiež vyhľadáva najbližší senzor brány WSN, ktorý potom odosiela údaje do MANET siete. Uzly MANET potom smerujú dáta do AP na základe Dijkstrovho algoritmu najkratšej cesty v snahe nájsť cestu s najvyššou rýchlosťou prenosu dát. Hodnoty rýchlostí údajov na jednotlivých linkách boli náhodne generované s odchýlkou +/- 50%. Odchýlka 50% sa vzťahuje na priemernú ľudskú rýchlosť chôdze (5 km/h) a bola stanovená ako stredná hodnota. Táto odchýlka by sa mala zvýšiť so zvyšujúcou sa rýchlosťou pohybu uzla. Vplyv tejto zmeny na mobilitu však nie je predmetom skúmania tohto príspevku. Dátová rýchlosť vo WSN sieti bola nastavená na 30 Kbps a dátová rýchlosť MANET siete bola nastavená na 100 Mbps. Špecifické dátové rýchlosti boli zvolené na základe [6], aby sa ukázali rozdiely medzi tradičnými MANET/WSN sieťami a navrhovaným 2-vrstvovým modelom siete WSN-MANET. Príklad simulácie WSN siete s 300 senzormi a vybranými smerovacími cestami je znázornený na obr. 3. Druhý príklad scenára 2-vrstvového modelu siete WSN-MANET s 300 senzormi a 20 MANET uzlami je znázornený na obr. 4. Rádiový dosah WSN senzorov bol nastavený na 10 metrov a rádiový dosah MANET uzlov bol nastavený na 40 metrov. Všetky výsledky uvedené v grafoch sú priemerné hodnoty vypočítané zo 100 simulačných cyklov pre každý scenár. Všetky simulácie boli vykonané v prostredí MATLAB.



Obr. 3 Príklad simulácie WSN siete s 300 senzormi.

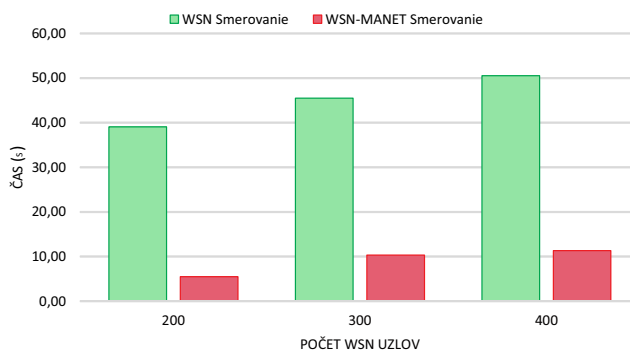
##### B. Výsledky simulácií

Prvý výsledok zobrazený na obr. 5 ukazuje priemerný čas potrebný na doručenie 100 kb dát zo zdrojového uzla do AP. V tomto scenári nie je uvažovaný čas potrebný na presmerovanie dát na uzle, uvažujeme len čas potrebný na prenos údajov cez bezdrôtové spojenia. Čas doručenia dát



Obr. 4 Príklad simulácie 2-vrstvového modelu siete WSN-MANET s 300 WSN senzormi a 20 MANET uzlami.

cez WSN sieť s 200 senzormi bol približne 39,05 sekundy, zatiaľ čo vyššie prenosové rýchlosti uzlov MANET v 2-vrstvovom modeli siete WSN-MANET skrátili čas doručenia na 5,47 sekúnd. Ide tak o približne 86% zlepšenie času doručenia dát. V scenári s 300 uzlami sa čas doručenia dát zlepšil približne o 77% a v scenári s 400 uzlami o 77%.



Obr. 5 Priemerný čas doručenia 100 Kb dát zo zdroja do AP.

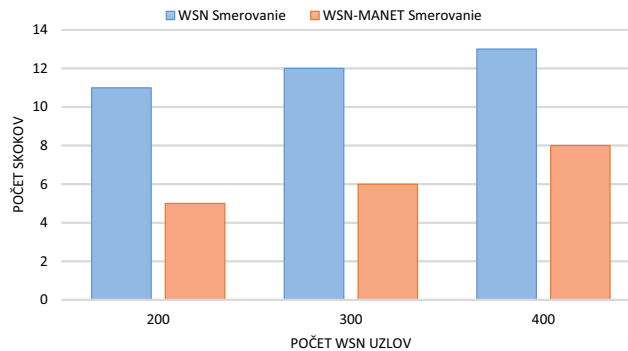
Druhý výsledok na obr. 6 ukazuje priemerný počet skokov na ceste od zdrojového uzla do AP. Výsledky priemerného počtu boli zaokrúhlené na celé hodnoty. V scenároch WSN siete s 200, 300 a 400 uzlami sa vybrané cesty skladali priemerne z 11, 12 a 13 skokov. Väčší rádiový dosah MANET uzlov v scenári 2-vrstvového modelu siete WSN-MANET znížil počet skokov v každom scenári takmer o polovicu na 5, 6, resp. 8 skokov.

Posledné výsledky sú zamerané na priemernú rýchlosť prenosu dát o veľkosti správy 100Kb, zobrazené v tabuľke č.1. Priemerná rýchlosť prenosu dát v sieti WSN pre všetky scenáre bol približne 31 Kbps, pričom Priemerná rýchlosť prenosu dát v 2-vrstvovom modeli siete WSN-MANET bola okolo 64 Mbps. Vyššia rýchlosť prenosu dát v sieťach MANET preto umožňuje celkovo rýchlejší prenos urgentných dát zo zdrojového senzového uzla do cieľa.

## V. ZÁVER

V tomto príspevku je predstavený koncept 2-vrstvového modelu siete. Navrhovaná koncepcia sa skladá z WSN siete a MANET siete, ktorú možno použiť v rôznych IoT a 5G scenároch, ako aj v





Obr. 6 Priemerný počet skokov na zdrojovej ceste od cieľa k AP.

Tabuľka 1  
 Priemerná rýchlosť prenosu 100 Kb dát.

| Počet uzlov | Sieť   |           |
|-------------|--------|-----------|
|             | WSN    | WSN MANET |
| 200         | 0,0306 | 62,631    |
| 300         | 0,0312 | 63,946    |
| 400         | 0,0338 | 66,337    |

rôznych katastrofických scenároch. Simulácie 2-vrstvového modelu siete dokazujú, že navrhovaný WSN-MANET model môže dramaticky znížiť čas doručenia urgentných dát a tiež zvýšiť rýchlosť prenosu dát na zdrojovej ceste. Spojenie MANET siete s WSN sieťou umožňuje senzorom WSN siete presmerovať dáta na MANET uzly, ktoré nemajú striktné obmedzené energetické zdroje ako uzly WSN. MANET uzly sú schopné komunikovať s vyššími prenosovými rýchlosťami a pracovať s väčšími rádiovými dosahmi. Presmerovanie dátového zaťaženia na MANET vrstvu tak môže šetriť energiu WSN senzorov s obmedzenými zdrojmi, ktorú spotrebúvajú pri procese prenosu dát. To zodpovedá požiadavkám 5G siete na vyššiu rýchlosť prenosu dát, zníženú latenciu a energetickú efektívnosť. V budúcom výskume sa zameriame na energetický aspekt modelu s cieľom vyhodnotiť rozdiely v spotrebe energie. Druhým dôležitým krokom v budúcom výskume bude implementácia modelu v reálnom svete s existujúcimi WSN senzormi a MANET zariadeniami.

#### POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore Agentúry na podporu výskumu a vývoja v rámci projektu č. APVV-17-0208 - Odolné mobilné siete na doručovanie obsahu a vedeckých grantových agentúr v rámci projektov VEGA 1/0492/18 - Odolná dátová komunikácia pre krízové situácie využívajúca viacpreskokové mobilné siete a KEGA 046TUKE-4/2018 - Implementácia významných výsledkov výskumu v oblasti mobilných komunikačných technológií do výučby

#### LITERATÚRA

- [1] S. Mukherjee and G. Biswas, "Networking for iot and applications using existing communication technology," *Egyptian Informatics Journal*, vol. 19, no. 2, pp. 107–127, 2018.
- [2] H. N. Saha, S. Auddy, S. Pal, S. Kumar, S. Pandey, R. Singh, A. K. Singh, S. Banerjee, D. Ghosh, and S. Saha, "Disaster management using internet of things," in *2017 8th Annual Industrial Automation and Electromechanical Engineering Conference (IEMECON)*. IEEE, 2017, pp. 81–85.
- [3] W. A. Jabbar, W. K. Saad, and M. Ismail, "Meqsa-olsrv2: A multicriteria-based hybrid multipath protocol for energy-efficient and qos-aware data routing in manet-wsn convergence scenarios of iot," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 76 546–76 572, 2018.
- [4] M. Erdelj, E. Natalizio, K. R. Chowdhury, and I. F. Akyildiz, "Help from the sky: Leveraging uavs for disaster management," *IEEE Pervasive Computing*, vol. 16, no. 1, pp. 24–32, 2017.
- [5] A. Sharif, J. P. Li, and M. A. Saleem, "Internet of things enabled vehicular and ad hoc networks for smart city traffic monitoring and controlling: A review," *International Journal of Advanced Networking and Applications*, vol. 10, no. 3, pp. 3833–3842, 2018.
- [6] I. . W. Group *et al.*, "Ieee standard for local and metropolitan area networks—part 15.4: Low-rate wireless personal area networks (lr-wpans)," *IEEE Std*, vol. 802, pp. 4–2011, 2011.
- [7] N. Kushalnagar, G. Montenegro, and C. Schumacher, "Ipv6 over low-power wireless personal area networks (6lowpans): overview, assumptions, problem statement, and goals," Tech. Rep., 2007.
- [8] K. Akkaya and M. Younis, "An energy-aware qos routing protocol for wireless sensor networks," in *23rd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, 2003. Proceedings*. IEEE, 2003, pp. 710–715.
- [9] Q. Liu and H. Qin, "Implementation and improvement of dsr in ipv6," *Procedia Engineering*, vol. 29, pp. 716–720, 2012.
- [10] D. Peintner, H. Kosch, and J. Heuer, "Efficient xml interchange for rich internet applications," in *2009 IEEE International Conference on Multimedia and Expo*. IEEE, 2009, pp. 149–152.



# Data analytics in the neurological area

*Tomáš KUDRÍK, Michal VADOVSKÝ, Ján Paralič*

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

tomas.kudrik@student.tuke.sk, michal.vadovsky@tuke.sk, jan.paralic@tuke.sk

**Abstract** — This article gives a brief overview of work that aims are to discover the knowledge of stroke using data mining. The theoretical part describes the basic information of stroke, such as its types, treatment, etc. The theoretical part also explains the principle of the discovery of knowledge in databases and its basic rules. The practical part captures data analysis on data containing information about patients affected by stroke. Gradually, data is selected, reviewed, modified, and modeled subsequently. The whole process is done in the R programming language. The modeling results are evaluated and deployed in a web application created using the RShiny library in RStudio. This article includes the most important lessons learned from the thesis.

**Keywords** — stroke, data mining, decision trees, web application, Rshiny

## I. INTRODUCTION

A stroke occurs very quickly and often causes death. Even though we are now able to quickly give the patient a chance of survival by rapid intervention, according to the 2016 World Health Organization (WHO) study, it is the second most common cause of death in the world after heart disease [1]. Even if a patient survives a stroke, he is still at risk of being dependent on others for the rest of his life. It is a disease with the highest rate of disability in the world. This disease is so great a burden not only for the patients themselves but also for their families. It is, therefore, necessary to help to defeat this insidious disease, and the discovery of knowledge from databases can also be used for this.

Nowadays, the discovery of knowledge from databases is often used in medicine, where it is used to find pieces of information that doctors, and patients have not been able to reveal using existing procedures. By examining data containing information on the disease, it is possible to find dependencies between the disease, patients or medicines. There is also a great perspective that with using data mining methods we can often predict how the disease will develop and thus prevent unwanted situations. Using data mining can be implicated in any disease, and that is why we have decided to use the discovery of knowledge from databases to gain new knowledge of stroke in this article.

This work is created in the program RStudio, which serves as an interface for programming in analytical language R. The steps of this method are followed by steps of the CRISP-DM methodology, which serves as a standardization of the process of discovery of knowledge from databases. The final aim of this work is to create a web application that contains the results obtained from this work.

## II. TYPES OF STROKE

Stroke is a sudden neurological deficit due to ischemia (vascular obstruction) or bleeding into the central nervous system [2]. Neurological symptoms of stroke persist for more than 24 hours and often lead to the death of the affected person. Up to about 25% of stroke patients are permanently disabled. The level of disability but also mortality largely depends on the time of administration of the appropriate type of treatment to the affected patient.

The basis for saving a person with a stroke is the rapid intervention of professional help. For this reason, only in the case of early signs of the disease, is it necessary to call for quick medical assistance. After that, the affected patient can get to the hospital as soon as possible for a medical examination on which further treatment progress depends. The primary symptoms of stroke include, sudden [3]:

- weakness, numbness, and facial mobility disorder, upper and lower limb movement on the one half of the body,

- difficulties in speaking or understanding speech,
- sight disorder, usually on one eye (or both eyes) and sudden loss of half of the field of vision,
- problem of walking or sudden dizziness,
- severe headaches without an apparent cause.

Stroke is divided into two groups by cause – ischemic and hemorrhagic stroke [4]. Ischemic stroke is a condition where a part of the brain ceases to be congested due to narrowing or obstruction of the vessel. Flow disruption is most often caused by thrombosis, which is formed on the vessel wall or by embolism, a torn thrombus that travels through the vessels and causes an obstruction in the narrow vessel. This type of stroke represents between 80% and 85% of all stroke in the world. Hemorrhagic stroke is much more severe than ischemic stroke, but it is not a clogging of the blood vessel but a rupture. The rupture of the cerebral blood vessel causes bleeding in the brain, which usually produces the same symptoms as in the ischemic form of the disease, but the symptoms spread faster, and the consequences are much more serious. If it does not intervene in time, bleeding causes an increase in intracranial pressure in the skull, and consequently the swelling of the brain, which may result in the death of the patient. It occurs approximately in half of all cases.

### III. STROKE TREATMENTS

In a stroke, it is most important to call for quick medical help, but the fact that the patient is in the care by a doctor does not immediately guarantee an automatic cure. The first and most important step in treating and saving a patient's life is to diagnose what type of stroke it is. If it is proven to be an ischemic stroke, one of these treatments is usually chosen to restore blood flow in the area of cerebral ischemia [5]:

- **Thrombolytic therapy** – alteplase (rt-PA) is used in this treatment. The use of this treatment is limited as it can only be used within three hours after a stroke. However, the treatment results are very positive, and even this treatment quite largely prevents the recurrence of stroke.
- **Anticoagulant treatment** – consists of administering low doses of heparin. It is intended to prevent thrombi formation and is therefore administered mainly to patients with a risk factor for thrombosis.
- **Antiplatelet therapy** – acetylsalicylic acid (aspirin) or a combination of low doses of acetylsalicylic acid (25 mg) with dipyridamole (200 mg) are used in this treatment. The use of aspirin is the most commonly used in secondary treatment, i.e., prevention of stroke recurrence.
- **Neuroprotective treatment** – its main task is to maintain at least a partial bloodstream in the ischemic foci to allow the drug to be delivered to the area. That way, the destruction of neurons in the vicinity of ischemia can be prevented and together, the possible inflammation is reduced.
- **Endovascular treatment** – is a treatment when the clot is removed surgically with the concomitant administration of thrombolytic to avoid embolization.

In a hemorrhagic stroke, the treatment procedure is completely different. A common reason for cracking and bleeding is high blood pressure, which must be reduced as soon as possible. It is also necessary to reduce intracranial pressure and subsequently to perform a surgical procedure that closes the ruptured vessel to prevent further bleeding into the brain.

### IV. KNOWLEDGE DISCOVERY IN DATABASES

Knowledge Discovery in Databases (KDD) can be characterized as a non-trivial process of acquiring implicit, new, understandable and potentially useful information from data [6]. It is a semi-automatic process, as only a human can decide which of the discovered knowledge is useful and suitable for successful application in practice. At the same time, only a human can decide to choose the necessary algorithms and operations to perform the individual steps of discovering knowledge properly.

Different sources from different authors list the steps in the process of discovering knowledge in databases at their discretion. For this reason, there are several ways in which these steps should look and how much they should be. These steps often overlap with their content. But all models consist of steps that lead from raw data to practical knowledge and knowledge. One such author is Usama Fayyad and his partners [6], who in their 1996 study reported that the process consists of these five stages (Fig. 1):

1. **Selection** – The task of this step is to develop an understanding of the application

domain, capture relevant prior knowledge, and identify the end-user data acquisition goal. Subsequently, a target data set (target dataset) is created from a large amount of data, a collection that can contain useful data is selected. In essence, it is the choice of the correct data samples and the appropriate subset of variables on which knowledge acquisition will be performed. Creating a target set can also arise from joining multiple separate datasets into one.

2. **Preprocessing** – In this step, the selected data is processed in different ways, allowing subsequent analysis of the data, which are providing some data consistency assurance. It is about clearing data samples from incorrect, missing, irrelevant data, removing duplicates, and identifying (and potentially correcting) noise.
3. **Transformation** – Transforming data into a form on which data mining algorithms can work. This transformation is done by dimensional reduction to reduce the effective number of variables that are considered or by transformation methods.
4. **Data mining** – this is a key part of the entire KDD process. In this step, a specific algorithm (discovery, learning, analyzing) is already being used on the prepared transformed data. As a rule, this algorithm is selected based on the goal we want to get from the transformed data. When a data mining method and algorithm is chosen to find patterns or relationships between data (most often classification, regression, summarization, aggregation, etc.), it is necessary to present the knowledge of a representative form, such as rule sets or trees. It is also important to have good data preparation because good results cannot be achieved without it.
5. **Evaluation/interpretation** – part of this step is to interpret the found examples, but it also evaluates if they are useful knowledge for the issue under consideration. Also, the important thing in this step is the simplest and clear visualization of the obtained data.

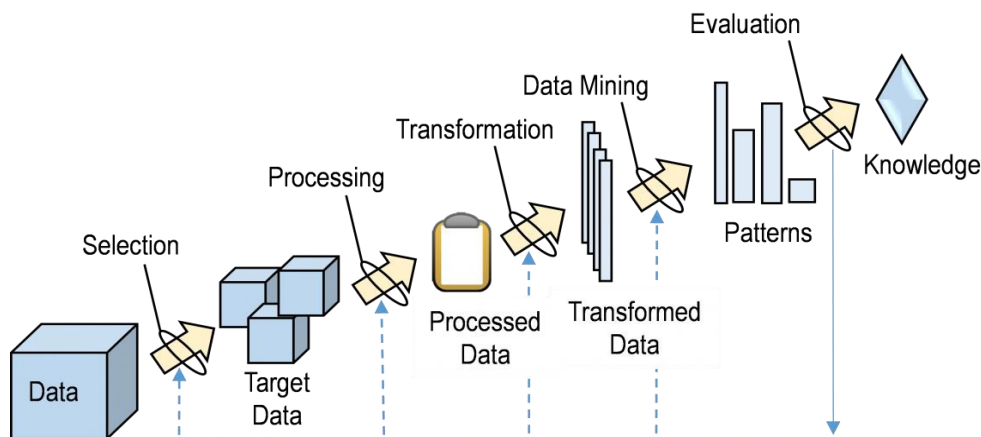


Fig. 1 KDD Process Steps [6]

## V. DATA MINING ON SELECTED DATA

For the analysis of the data of patients with stroke, we did the work using the programming and statistical language R in the program belonging to it RStudio. Of course, as already mentioned, we followed the CRISP-DM process model. Specifically, in the following steps:

### A. Understanding the issue

The primary goal of this work is to use data analysis to gain knowledge that would help doctors alleviate stroke problems. Of course, it is not possible to focus on all areas of the problem in this matter, the content of this work is not enough. Setting a more specific goal is based on monitoring and evaluating the situation, as we have done in the analysis of the current situation. Since several studies have already focused on stroke from the point of view of disease progression and factors affecting it, we decided to focus our attention on the consequences of stroke. There is the problem of high mortality, stroke recurrence, and disability of patients after the disease has occurred. At the end was the goal of creating a web application that contained the results of our work, which is newly obtained information from the analysis.

### B. Data Understanding

We performed the work on two datasets. The first source of data was the International Stroke Trial Database (TISTD), which was produced by an international team between 1991 and 1996.

These data were prioritized to record the impact of drugs on humans with stroke. The main follow-up group was aspirin and heparin and their effects from three periods: before the stroke, up to 14 days after stroke and six months after stroke. The second source of data came from the University Hospital of L. Pasteur in Košice. Specifically, records collected during the retrospective analysis of patients with ischemic stroke (RAPICMP) who were admitted to a neurological clinic. Records from this analysis are divided into two separate datasets, according to the years in which they were created (2014/2015 and 2016).

Data understanding also included the first data analysis. We analyzed the abundance of values of individual attributes. We focused on the attributes, which included information on stroke repetition, patient mortality, and, marginally, the impact of drugs.

### C. Data Preparation

After understanding the structure of the data, it was necessary to make certain changes that we needed to make for the proper functioning of the modeling phase. It can be seen from the data quality verification that both datasets have to go through the process of data selection and purification, as well as the transformation, selection and reduction of the values or attributes.

In this section, we have focused on removing the deficiencies found in our data, so that they can then be suitable for the modeling process. This part took a great deal of time and we could say that at least half of the total time we spent working on this part. After all adjustments, we deleted 42 attributes and 1396 entries from the Stroke dataset. As far as the INCMPI dataset is concerned, we did not delete either one record or one attribute, but at the beginning we decided to connect the INCMPI14\_15 AND INCMPI16 datasets.

### D. Modeling and Evaluation

After conducting the survey and preparing the data, we decided to carry out three experiments, which would form the main part of the practical part of this thesis. The first experiment was performed on both TISTD and RAPICMP datasets while attempting to predict the OCCODE target attribute, which talks about the patient's final condition. The patient is assigned to one of four possible classes (1 - dead, 2 - dependent, 3 - weaker (self - sufficient), 4 - healthy). The prediction was made by decision trees; the primary goal of this experiment was to find the most accurate decision tree model.

Before we started creating individual models, we focused on testing the dependencies between the OCCODE attribute and other attributes. This should have contributed to a better selection of the attribute set that would lead to the best model. We created the models using the Rpart R package, which is used to generate the CART algorithm and the RandomForest algorithm. We also used 10-fold cross-validation, and the training set was still balanced with the SmoteClassif() function from the UBL package, where we chose both the oversampling and undersampling methods. Unfortunately, out of a total of 44 created models on the Stroke dataset and 12 models on the INCMPI dataset, only 42.97% achieved the best model. For this reason, we considered this experiment successful.

In the second experiment, we just simplified the goal because of the first experiment failure, using the DIED attribute instead of the OCCODE target attribute. It divides patients into two classes depending on if the patient survived or died instead of 4 different classes as it was in the OCCODE attribute. Therefore, we were looking for a model with the highest accuracy but also sensitivity. There was also a change in the fact that in experiment no. 2 we only worked with the Stroke dataset. Except for the last model created by logistic regression, the remaining models are created by decision trees.

The most accurate result was obtained from a model created using the RandomForest algorithm, which predicted the value of the target DIED attribute based on the three attributes of RCONSC, REPEAT, AGE. This model achieved an accuracy of 76.63%. The model with the highest sensitivity was created by logistic regression when it in one case exceeded 0.90, which means that our result is quite successful. For a better idea of how the model put patients in each class, we had a model contingency table (Table 1).

Table. 1 Contingency table of the most accurate model in second experiment

|   | 0-pred | 1-pred |
|---|--------|--------|
| 0 | 1155,8 | 224,9  |
| 1 | 185,2  | 213,1  |

After a successful logistic regression in the second experiment, we have tried to create a third experiment that was focused on the recurrence of stroke. We used the REPEAT attribute of the Stroke dataset as the target attribute. This experiment, after listing the results indicated a very promising result of sensitivity, but after a looking at specificity and after listing the contingency table, we had to conclude that the model did not predict the ideal since the Y value (patient repeats stroke) was predicted very inaccurate. For this reason, we cannot consider the predictive ability of the model to be successful. But from the logistic regression in this experiment and also in the second experiment, we received interesting insights into the effect of individual attributes on stroke recurrence as much as possible if the vascular patient stroke succumbs or not.

Table. 2 Contingency table of the most accurate model in second experiment

|   | 0-pred | 1-pred |
|---|--------|--------|
| 0 | 1235,7 | 473,9  |
| 1 | 34,6   | 34,8   |

### E. Deployment

In this section, we have selected the best results we have achieved in our work and put them in a web application. It serves just to make the visualization of newly acquired information as clear as possible from our work. This web application was created in RStudio using the RShiny library (Fig. 2).

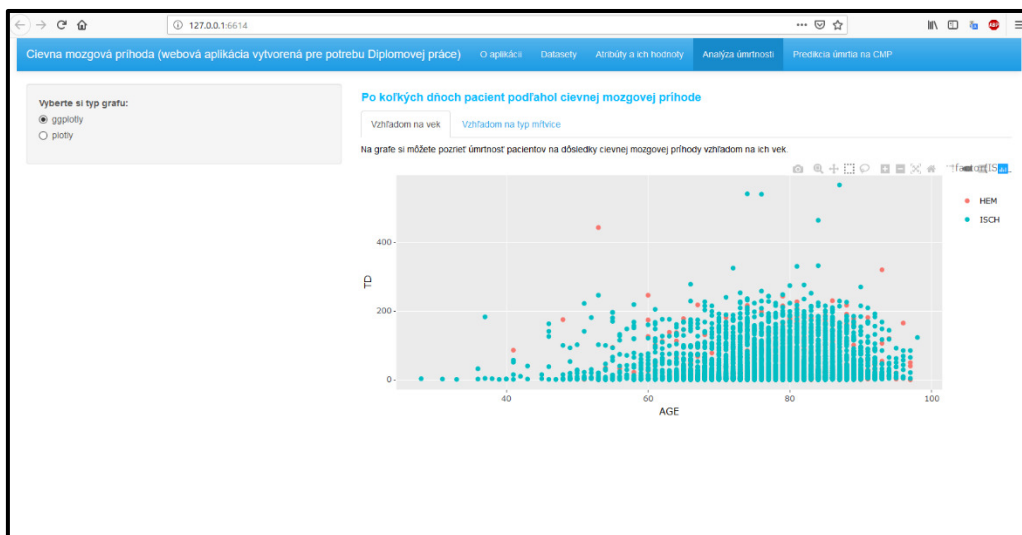


Fig. 2 Web application preview

## VI. CONCLUSION

The goal of finding new, still unknown and useful knowledge has been fulfilled in this work. After reading the work, the reader can easily find the basic information that comes from the practical part of this work if it is the initial knowledge of descriptive analysis written in the data survey or already the knowledge gained from the three created experiments.

Although the results of the first experiment cannot be considered successful, we cannot expect that each analysis will be successful. But what failed in the first experiment replaces the second experiment in which several models have been developed to predict if a patient afflicted with a stroke is at risk of, or at risk of being caused by this malicious disease. The obtained information is also submitted in the form of a web application, which can be regarded as meeting the goal of delivering the results as simple as possible.

But there is still a lot of space for improvement in the future. Whether in the form of targeting another part of the stroke or even improving the results of the first experiment. Certainly, it is important to continue to study stroke just through the process of discovery of knowledge from databases, since only a better understanding and use of knowledge can lead to the defeat of this malignant disease.

#### ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract No. APVV-17-0550.

#### REFERENCES

- [1] The top 10 causes of death [online]. [cit. 2019-04-29]. <<http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>>.
- [2] GDOVINOVÁ, Z. Manažment cievnej mozgovej príhody vo svetle súčasných odporúčaní. In: Interná medicína. SAMEDI: Bratislava. Vol. 13, No. 10, 2013. p. 441. ISSN 1335-8359>.
- [3] KALITA, Z. Akútne cievne mozgové príhody: Příručka pro osoby ohrožené CMP, jejich rodinné příslušníky a známé. 1 vyd. Praha: Mladá fronta, a.s., 2010. p. 39. ISBN 978-80-204-209.
- [4] VESTENICKÁ, V. Cievne mozgové príhody. Neurologie pro praxi, 2003, No. 6, pp. 294-298. ISSN 1213-1814. <<https://www.neurologiepropraxi.cz/pdfs/neu/2002/06/04.pdf>>.
- [5] WAWRUCH, M. Liečba cievnych mozgových príhod, Zborník vedeckých prác projektu Vybudovanie centra excelentnosti pre náhle cievne mozgové príhody na Lekárskej fakulte.
- [6] FAYYAD, U. et al., From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases American Association for Artificial Intelligence, 1996.

# The history of development of computer technology in Slovakia II.

<sup>1</sup> *Silvia SCHMIDTOVÁ*, <sup>2</sup> *Ján GENČI*

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

<sup>1</sup>silvia.schmidtova@student.tuke.sk, <sup>2</sup>jan.genci@tuke.sk

**Abstract** – This paper deals with the history of computer technology in Slovakia. Firstly the paper discuss one of the most important persons in the history of computer technology in Slovakia, the academician mult. Dr.h.c prof. Ing. Ivan Plander, DrSc. The paper describes his life and significant achievements and discoveries by which he contributed to the development of science and technology in Slovakia. The paper also describes one of his most important project and invention, computer RPP-16. The main contribution of this paper is to popularize this topic in general and this notable person and his inventions.

**Keywords** – Ivan Plander, RPP16, SAS, The history of development of computer technology in Slovakia

## I. INTRODUCTION

Personal computers are an essential part of everyday life. Many people can not imagine their ordinary life without them. Development of technologies enormously grows every year and modern life would be completely impossible without technology. They help to launch and manage different processes such as drive cars with due regard for efficiency, operate the heating systems, provide instant communication anywhere in the world. So, if you live in a smart home, have the Internet, smart household appliances at home or in work, information technologies are at least partly responsible for managing them. Examples of use are everywhere around as.

But it wasn't always like that. In Slovakia, the development of computer technology and computers began in the 1950s. One of the leading Slovak scientists of all the time is academician Ivan Plander that undoubtedly contributed to its development.

This is why, this paper focuses on the study of his life, work and achievements of academician prof. Ivan Plander, DrSc. It will simply analyze his life at the Slovak Academy of Sciences, where he made his most important inventions.

Furthermore the paper is also focused on the research and development of the first slovak computer, which was mass produced in the former Czechoslovakia. It is called RPP-16 (Quick Program Processor with 16-bit). It's a computer that was developed by SAS under the leadership of Ivan Plander.

The aim of this paper is to raise awareness among the general public about the success of this pioneer of informatics and computers in Slovakia so that the study will be published on a web portal calls Wikipedia.

## II. IVAN PLANDER AND HIS GREATEST INVENTION RPP-16

Academician Plander began his studies at a grammar school in Kremnica and later moved to the Secondary Industrial School in Banská Bystrica, which he graduated in 1947. After finishing secondary school he joined the Slovak Technical University in Bratislava. He studied at the Faculty of Electrical Engineering. Because he had already mastered practical and theoretical electrical skills from high school at a relatively high level, he focused on engineering in which he had gaps. After gaining an engineering degree, he worked at his Alma mater as an assistant where he lectured and taught engineering subjects [1].

In 1953, the Slovak Academy of Sciences was founded, where Plander started his doctoral studies with the status of an internal aspirant. During his work at the SAS he constructed his most important inventions.

It is worth mentioning his hand-made counter DC amplifier originally designed for the first analog computer (Fig. 1). It forms the basis of an analog computer counting unit (summator and





Fig. 1 First slovak analog computer. [2]

integrator). He also designed other parts of the computer as well such as potentiometer systems and resistor systems.

The computer was put in operation at SAs in 1958. It was used, for example, to calculate the mechanical properties of cars. SAS experts used it for calculations in damping an incubator when transporting babies [2].

For the growing needs of the institute, when an analog computer was no longer sufficient, Plander came up with a bold idea to construct a process control computer. By creating a third-generation computer RPP-16, there was a boom in computer science in Slovakia. Not to mention that the new constitution and institutions were made but overall it developed the new type of industry - IT industry, which in Slovakia until that moment did not even exist.

The entire project from its basic research to the final version took years to finished but all the effort paid off eventually. Evidence of RPP-16 success was its application in the Czechoslovak industry. It was used in mines, in power engineering, in schools, and in other institutions.

It would have a much bigger application if the computer was more affordable. The cost of its smaller version was 5.8 million Kčs. However, in this case, it was paid for quality due to its expensive components that were used on this computer (Fig. 2) [3].



Fig. 2 RPP-16 [4]

Ivan Plander led the entire RPP-16 project and gradually became the director of the Technical Cybernetics Institute at SAS. It can be said that under Plander's leadership the institute experienced the best times from its entire existence. At that time, the institute was progressing and ranked among the top institutions in the industry in the world. Plander did not look back into the past but into the future, he was always looking forward for what is yet to come, and therefore gladly welcomed new projects that could push the Institute even further.

If Plander remained in his post of director of ITC, it is possible that he could have turned the institute into a place that would offer a work for experts from all over the Slovakia and would be the leader in the IT business far and wide.

Unfortunately, Plander was forced to leave the institute in 1990 and without his leadership, the Institute of Technical Cybernetics ceased to exist only a year after his departure.

With his diligence and modesty, he has achieved an international reputation, which is characterized by the abundance of membership in organizations not only at home in Slovakia but also abroad. He was a member of six global organizations, members of 7 Slovak organizations and even was a member of the editorial boards of six journals and a magazine. He was founder of one of the mentioned magazine - Computers and Artificial Intelligence (today name - Computing and informatics) [5].

He earned admiration for his achievements and hard work from his colleagues but also students and friends who know him well. He tried to make Slovakia visible and to make from it a country that always progresses and is not afraid of new challenges. As a result, he has won lots of awards at home and also abroad:

- State Prize for Technical Sciences for Project RPP-16 in 1976,
- IFIP Silver Core 1997,
- Slovak Academy of Sciences Prize for Popularization of Science Results in 1976,
- Golden Plaque of Aurel Stodol from SAS in 1978,
- Gold Medal of Czechoslovak Academy of Sciences in 1984,
- plaque by F. Křížik from Czechoslovak Academy of Sciences in 1988,
- Work Order in 1988,
- The Order of Ľudovít Štúr Class I. in 1998,
- IEEE Computer Pioneer Award in 1996,
- Wolfgang Kempelen Medal by FIIT in 2008,
- Lifetime Achievement Award in Science and Technology from the Ministry of Education,
- Youth and Sports of the Slovak Republic in 2012,
- Plaque for the 60th anniversary of SAS in 2013 [5].

His lifetime hard work was awarded with two honorary degrees one is from the Technical University in Košice and the second is from Alexander Dubček University of Trenčín, that he helped found and was its first rector (Fig. 3) [6].



Fig. 3 Ivan Plander as rector of Alexander Dubček University of Trenčín [6]

### III. CONCLUSION

The aim of this paper was to familiarize with available resources and to create a study on the history of computer technology in Slovakia.

In the first place, it discussed an asset of the academician Ivan Plander. It describes his life and lifelong work. It also describes his greatest success in his career, the computer RPP-16.

The computer, famously called DEDKO (Grandpa), was built entirely on the Czechoslovak components and thanks to it significantly influenced the entire national economy for several years. Although Slovakia is experiencing an upswing in the IT sector today, the development and production of its own computers has ended a long time ago.

Nowadays, there is not a lot of available resources of the history and creation of computers in Slovakia, so the whole study will be published on a freely accessible web portal to raise interest and awareness of the issue.

### REFERENCES

- [1] Štefan Kohút, "Akademik ivan plander Život a dielo," 2018, off-line CD.
- [2] J. Liptáková, "It museum shows how computer engineering worked under communism," *The Slovak Spectator*, 2 2019.
- [3] V. news, "40 rokov počítača rpp-16," e-časopis SLOVENSKÝCH INŽINIEROV, TECHNIKOV A INOVÁTOROV, 5 2014.
- [4] "Funkčná vzorka rpp-16s," *Stála výstava dejín výpočtovej techniky na Slovensku*. [Online]. Available: <http://www.vystava.sav.sk/projekt-rpp-16/>
- [5] I. Budinská and M. Alexík, "90 rokov akademika ivana plandera," *Atp journal*, 12 2018. [Online]. Available: [https://www.atpjournal.sk/rubriky/podujatia/90-rokov-akademika-ivana-plandera.html?page\\_id=28134&fbclid=IwAR0XLBXNGi9F4IRowphObsRkmaScQ2aOi1L6iBJ80otfdGfGI-0LiG1oKY](https://www.atpjournal.sk/rubriky/podujatia/90-rokov-akademika-ivana-plandera.html?page_id=28134&fbclid=IwAR0XLBXNGi9F4IRowphObsRkmaScQ2aOi1L6iBJ80otfdGfGI-0LiG1oKY)
- [6] "Prvý rektor univerzity oslavuje životné jubileum," *Trenčianska univerzita*. [Online]. Available: <https://tnuni.sk/aktuality/prvy-rektor-univerzity-oslavuje-zivotne-jubileum/de7d816ff81c985e56c46c5ab52d2076/>

# Educational Web Solution for Computer Networks course

<sup>1</sup>Marek ILKO, <sup>2</sup>Ondrej KAINZ, <sup>3</sup>Miroslav MICHALKO, <sup>4</sup>Rastislav PETIJA,  
<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>miroslav.michalko@tuke.sk,  
<sup>4</sup>rastislav.petija@tuke.sk, <sup>5</sup>frantisek.jakab@tuke.sk

**Abstract** — The research presented in this paper focuses on the analysis of the issues in computer literacy and e-learning area. Subsequently, following this analysis, the prototype of web educational application is designed, implemented and experimentally verified. Experimental verification was carried out on the computer networks course. Developed web application supplements the educational process and extends the experience of students with the asynchronous web chat and adaptive testing of their knowledge.

**Keywords** — Asynchronous web chat, adaptive testing, computer literacy, e-learning.

## I. INTRODUCTION

In today's world the information and communication technologies are developed on a daily basis, this significantly changing the resulting forms and culture of today's education. The informatics sector is in the forefront, as it develops students' thinking and their ability to analyze, seek new solutions to problems, and then validate them in the practice. Sustainable development of this area is necessary. For this reason, computerization of schools is being introduced, at all levels, where available technologies provide broad space and motivation to build computer literacy. Building computer literacy is a lifelong journey and starts at a school where it has to develop. According to [1], computer literacy is understood as a number of terms, terminology, and operations that relate to general computer usage. These are indispensable knowledge necessary for independent operations with the computer. This ability involves avoiding or resolving issues, adapting to the new situations, organizing information, and communicating effectively with equally computer literate people. Consequently, computer literacy generally refers to the use of applications rather than programming.

Electronic learning is a web-based education that is also known as e-learning or online education. Cloete in [2] describes e-learning as a fast-growing industry that is gaining in popularity every year. The main reason for this rapid expansion of e-learning is today's lifestyle. Nowadays, especially for a working person, it is very complicated to physically attend a university, attend seminars. A much simpler way for such a person is online education through online courses. These courses may have different focus, and also be paid or free.

Building a web-based educational platform using the potential of an individual education web site is certainly an essential part of e-learning industry. The main aim of this work is to design an adaptive web system with the asynchronous web chat to support selected course, in this case Computer networks course at the Technical University of Kosice. To achieve the goal, it is necessary to analyze the different forms of e-learning.

## II. ANALYTICAL CONSIDERATIONS

To achieve the goal, it is necessary to analyze the different forms of e-learning. The first part of the analysis deals with using the potential of using the web application. The next part deals with the evaluation of databases. The last part of the analysis focuses on adaptive web systems and their use.

### A. Reasons to Utilize a Web Environment over Other Platforms

The priority when creating the application is its simple and intuitive user control. Well, even before you start using the application, one has to convince and attract the user right at the beginning to give the application a chance and did not leave an application now in its introduction.

Every application, whether web, desktop or mobile, has pros and cons. For mobile and desktop applications, it would be necessary to decide between a particular platform [6]. For mobile applications, it would be Windows Phone, Android, IOS. For desktop applications, it was decision between three operating systems such as Windows, Linux and macOS. Due to the largest user base, the Windows platform, which is still the most widespread on desktop computers, is likely to be chosen, but in the long run, neither option would be a completely suitable decision because target audience uses all of the above stated platforms. For research purposes, the web application appears to be the best solution for end users. The reasons to use a web application are the following:

1) *Immediately*: Web applications are available instantly, for all users, using a web browser across a wide range of operating systems and devices. The disadvantage is accessing the web application in case of error. Whether it is the error on side of the customer, provider or server. Internet access is often available option and continues to expand its coverage around the world. For this reason, it can be said that the web application is better than traditional in terms of availability.

2) *Compatibility*: Web applications are compatible with a wide range of devices and users can use the web application on different types of devices. Users need a web browser and Internet access. There is no need to install and download the update.

3) *Standard environment*: The priority in creating the application is its simple and intuitive control. Thus, when using the web application, there is no need to learn a new program, but only use their acquired experience from the other websites.

4) *Responsivity*: Responsive web site design provides optimum web page views across different device types, from computer, tablet to smartphone [8]. Page layout varies depending on the size of the display used. Even with responsiveness, the user does not notice any difference from the classic application. For the administrator, responsiveness is a great advantage by creating only one version of the website and making all the adjustments in one place, regardless of the target device. The responsive website is SEO optimized with one URL per page.

#### *B. Basic Principle of the Adaptive Web System.*

Customization refers to the functionality when the system can adapt to the context of use. Customization is only performed if the user starts using the system. Adaptivity is something more (enhanced) and the system will not only adapt to the its use but will adapt throughout the use of system, from its start to its end. In other words, the adaptability of web systems can be called as a dynamic action system that adapts to users or changes in the context. The first and most important area of use of adaptive hypermedia is the education. The appropriateness of using adaptive learning systems is also determined by the fact that the effectiveness of learning for each individual depends significantly on the offer of the appropriate learning material. Nowadays, there are many systems for teaching that have been created alone or with intelligent backend. These adaptive web systems provide the user with changes to the web content following the needs, either automatically or through the user's activity. According to author [5], the basis and motivation for creating an adaptive hypermedia system is the difference between users.

The whole process of adaptation begins with tracking the user and collecting data of the behavior [4]. The condition is that the user does some action in the system. His feedback follows his characteristics and his behavior, which are then stored. Subsequently, an intermediate step is created between the two phases, which serves to evaluate the feedback. It contains all the necessary information needed to start the second phase, and that is the user's adaptation process. Several models of adaptive learning systems are available. The best known are Dexter, GAMP, GAM, Munich Reference Model and AHAM which is described by [7].

### III. PROPOSAL OF THE EDUCATIONAL SOLUTION

When designing the educational web application, it is necessary to realize that it will be used every day. The web application will serve to simplify and speed up the sharing of information between the users (or students). The aim of this research is to design a web solution to support computer networking and then implement the proposed solutions in the form of a web application prototype, which will be tested at the course of the Computer networks. Traditional tools and approaches are to be utilized, such as HTML, CSS, PHP and MySQL [3]. The goal is to create an intuitive web application, enabling each user not to spend a long time searching for the appropriate button or input field, use the application simply and unambiguously. Another important feature must be the complexity of the application so that it does not restrict the user in his work but gives him the comfort and the means to achieve the goal. The proposed solution will cover two separate parts (see Fig. 1).

The first such separate section will focus on asynchronous web chat. With web chat, students will be able to exchange unlimited information with each other but also with the instructor.

Instructor with chat can assign a task to students, share links, share the source code used in the lesson, and other important information that students can follow, even if they are not present at the lesson, or study the current topic after the course. Chat offers almost unlimited possibilities, which are limited by the creativity of students and educators.

The second part of the web-based learning support solution will be focused on testing the students' knowledge, this is to be done in the form of adaptive testing. Adaptive testing will ensure that students are asked questions that correspond to their previous knowledge. This will also ensure that the student is constantly motivated to continue the test, as he or she will receive questions that he will be able to answer. If a student is getting too simple questions or difficult questions, it could lead to his lack of interest in such testing. Also, the adaptive testing has not only one essence but two. The other is educational. Through adaptive testing, a student can repeat what was learned and consolidate own knowledge. Or, if students encounter a question that they do not know, it is likely that they will find the answer and thus remember the answer.

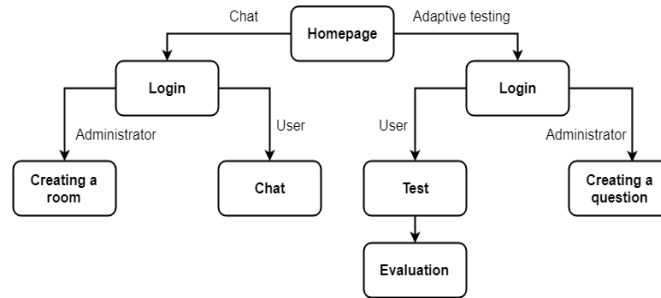


Fig. 1. Estimated sequence of steps Web solutions to support the teaching of computer networks.

#### IV. EXPERIMENTAL IMPLEMENTATION

The flowchart of the solution is depicted in the Fig. 2. The web application consists of multiple segments. The most important element is the administration interface. The administrator logs into it in a standard way, by providing the name and password.

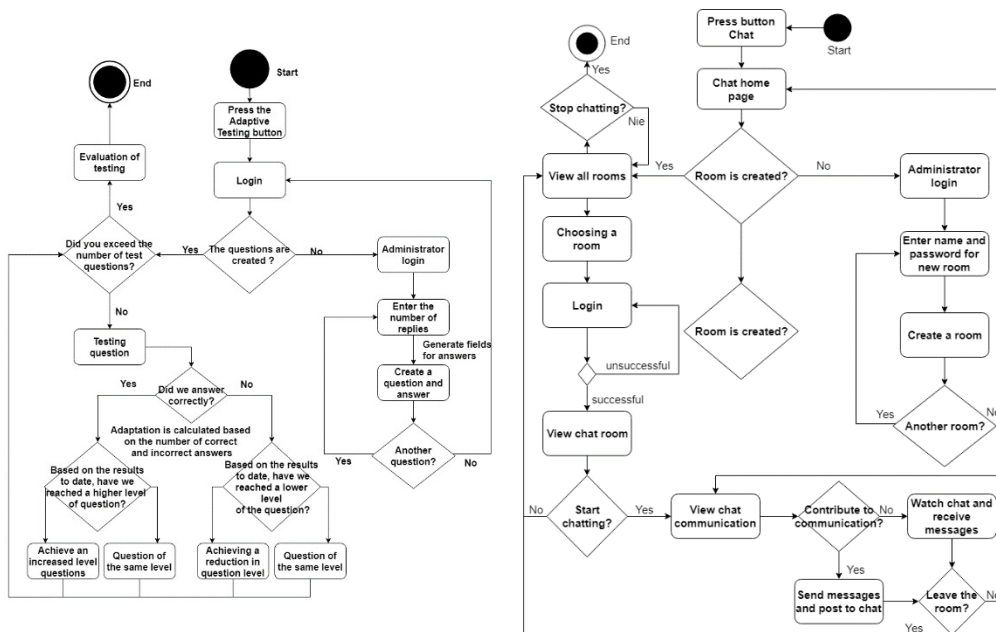


Fig. 2. Estimated sequence of steps in adaptive testing (left) and web chat (right) solution.

From the client, using the POST method, the fields required to sign in are sent. After a successful login, user is redirected to the administration section. In the administration section, you can add questions and answers to adaptive testing. By default, there is a form with the possibility of filling in the number of answers. After the text field is filled in for loop is executed to generate the appropriate number of responses. After submitting the form, an insert is placed in the "answers" and "questions" tables. Foreign key is also written in the answers table. Using a foreign key, the connection is created between two tables. In this case, the M:1 bonding is created. Another segment is testing itself. Before starting the test, the user enters only his name, which is saved in the "users" table. The choice of questions depends on the number of answers. The more



correct answers, the more challenging questions and the more wrong answers, the easier the questions. The current test user's score is kept in his session. The JavaScript timer is turned on during the whole test. After answering the relevant questions, there is an evaluation at the end. The evaluation consists of three aspects - the number of correct answers, the level reached and, of course, the percentage of success.

By selecting the chat, one will again be able to sign in as an administrator. This option is necessary if no chat room are created. Subsequently, using the *RoomController* class, only the administrator (instructor) can create new rooms or delete old ones using the *index* and *delete* functions. Once the room is created, all the created rooms are listed using the *IndexController class*. Providing the administrator is logged in, there is no need to log in but can visit any room without having to enter a password from the specific room. To check whether the administrator is logged in is used by the *is\_active* column and in the *IndexController* class, it is checked whether its value is 1. Once the administrator is in the room, it is checked whether the room was entered in administrator role, or as a user, and can communicate with each other. If there is an interaction or a change in the chat, the data is sent and stored in the message database.

## V. TESTING OF THE EDUCATIONAL SOLUTION IN THE REAL ENVIRONMENT

One of the main goals of the research was also the experimental verification of the proposed solution on the sample course of Computer networks. The benefit of research provides scope for further use of this testing in the educational practice. Testing took place on two levels. The first level of testing was software testing. The second level of testing was testing at the course of Computer networks.

Based on the evaluation and positive feedback from the students, it can be concluded that the web application can be applied to the subject of the Computer networks. This web application can also be used for other purposes as chat and adaptive testing may not be directly linked to one course. The final implementation of the solution is shown in Fig. 3.

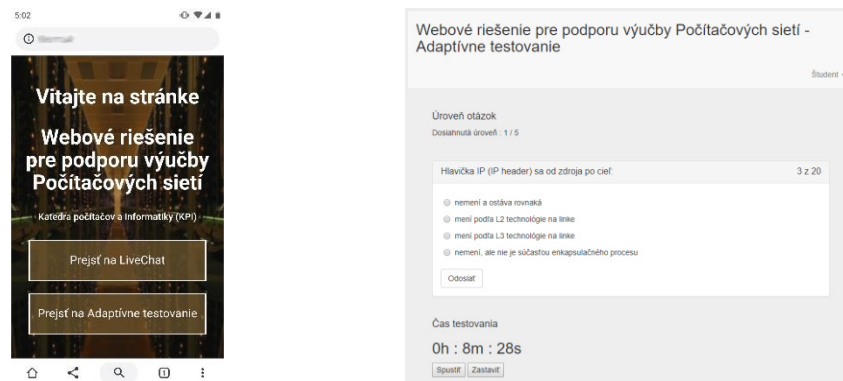


Fig. 3. Proposed educational web solution (left) and example from the adaptive testing (right).

## VI. CONCLUSION

The main goal of the research was to describe the functionality of the adaptive testing and asynchronous web chat. In each section, the most important classes, functions, and databases used in the implementation were described. Thanks to the implementation of the proposed solution, the final web application was developed, tested and evaluated. Based on software and user evaluation and positive feedback from students, it can be concluded that the web application is successfully applied to the course of the Computer networks. This web application can also be used for other purposes such as chat and adaptive testing, thus may not be directly linked to one subject. However, such implementation to other subjects requires further exploration and modification of the resulting web application, since web chat and adaptive testing have almost unlimited use. Other shortcomings found during testing of the application could be improved by better application security and better graphic design.

## ACKNOWLEDGMENT

This paper is supported by grant project 011STU-4/2017, granted by the Cultural and Education Grant Agency of the Slovak Ministry of Education.

## REFERENCES

- [1] Selber, Stuart A. *Multiliteracies for a Digital Age*. Carbondale: Southern Illinois University Press, 2004.
- [2] Cloete, Elsabé. "Electronic Education System Model." *Computers & Education* 36, no. 2 (2001): 171-82.



- [3] Greenspan, Jay, Jay Greenspan, and David Wall. *MySQL/PHP Database Applications*. Indianapolis: Wiley, 2004.
- [4] Brusilovsky, Peter, and Eva Millán. "User Models for Adaptive Hypermedia And Adaptive Educational Systems." *The Adaptive Web Lecture Notes in Computer Science*: 3-53.
- [5] Bureš, Miroslav, Adam Morávek, and Ivan Jelínek. *Nová Generace Webových Technologii: Informace v 21. Století: Nové Koncepce a Technologie, Které Začínají Utvářet Budoucí Podobu Internetu*. Praha: VOX, 2005.
- [6] Charland, Andre, and Brian Leroux. "Mobile Application Development." *Communications of the ACM* 54, no. 5 (2011): 49.
- [7] Halasz, Frank, and Mayer Schwartz. "The Dexter Hypertext Reference Model." *Communications of the ACM* 37, no. 2 (1994): 30-39.
- [8] Magix. "What Is Responsive Web Design?" The MAGIX Magazine. November 30, 2017. Accessed July 15, 2019. <http://magazine.magix.com/en/responsive-web-design/>.

# Výber vhodných prenosových uzlov v CR-MANET na báze teórie hier

<sup>1</sup>Ján PAPAJ a <sup>1</sup>Alexandra HORNYÁKOVÁ

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

<sup>1</sup>jan.papaj@tuke.sk

**Abstract** — Rozvoj mobilných technológií nových generácií poskytuje široké možnosti ich využitia na poskytovanie rôznych typov služieb. Bezdrôtové siete a zariadenia získavajú stále väčšiu popularitu vďaka tomu, že poskytujú prístup k informáciám kdekoľvek a kedykoľvek. Klasické bezdrôtové siete využívajú infraštruktúru, ktorej časti sú statické a navzájom prepojené. Na rozdiel od klasických sietí, mobilné ad-hoc siete k svojej činnosti žiadnu infraštruktúru nevyžadujú. Mobilné uzly komunikujú medzi sebou priamo alebo prostredníctvom iných uzlov. Uzly sa môžu voľne pohybovať v celej sieti a kedykoľvek opustiť sieť, prípadne do nej vstúpiť. Vďaka týmto vlastnostiam majú MANET siete veľké využitie v súčasnosti. Siete CR-MANET vznikli rozšírením MANET sietí kognitívnym rádiom. Kognitívne rádio umožňuje používateľom využívať nevyužitú časť spektra. Používa sa pri riešení problému nedostatku frekvenčného spektra. Je schopný snímať rádiové prostredie a frekvenčné spektrum. Kognitívne rádio aplikované do sietí MANET umožňuje pomocou snímania spektra vyberať nevyužitú časť spektra tak, aby sa zabránilo rušeniu komunikujúcich používateľov. Zároveň aplikovaním teórie hier do procesu smerovania sa nám otvárajú nové komunikačné možnosti. Tento článok predstavuje základnú ideu vyžívania kognitívneho rádia a teórie hier v procese smerovania. Cieľom je poskytnúť odolnú komunikáciu ako aj výber spoľahlivých mobilných uzlov.

**Keywords** — CR-MANET, kognitívne rádio, teória hier, nekooperatívne hry

## I. ÚVOD

Nedostupnosť sietí si infraštruktúrou má v prípade výskytu katastrof za následok až spoločenské problémy ľudí, ktorí sa v danej situácii snažia hľadať potrebné informácie, alebo sa snažia medzi sebou komunikovať. V súčasnej dobe sa začína vedecká komunita zaoberať otázkami, akým spôsobom poskytnúť nové možnosti na odolnú komunikáciu v týchto oblastiach [1]. Výskum v oblasti odolných komunikácií je v súčasnosti zameraný predovšetkým na scenáre, kedy dochádza k náhodnému (neúmyselnému) zlyhaniu jednotlivých alebo viacerých uzlov, ktoré sa nachádzajú v komunikačných sieťach. To vedie k potrebe nasadenia a využívania nových typov viacpreskokových mobilných sietí bez infraštruktúry, ktoré by umožňovali odolnú komunikáciu a prenos dát aj v situáciách, kedy siete s infraštruktúrou nie sú toho schopné [2].

Pre krízové situácie sa v oblasti viacpreskokových mobilných sietí výskum orientuje na využitie dvoch hlavných skupín sietí: hybridných MANET-DTN sietí [3] a kognitívnych mobilných ad-hoc sietí (CR-MANET) [4]. Viacpreskokové siete si nevyžadujú k svojej činnosti centrálny manažment a budú taktiež integrované ako štandard do 5G sietí, ale zároveň budú využívané pre krízové situácie. Výhodou týchto sietí je aj skutočnosť, že k svojej činnosti si nevyžadujú žiadnu infraštruktúru a sú samokonfigurovateľné. Hybridné MANET-DTN siete integrujú MANET a siete tolerujúce oneskorenie (DTN). Nachádzajú uplatnenie aj v krízových situáciách, kedy žiadne siete nie sú schopné poskytovať komunikačné služby. Kľúčovými prvkami sú mechanizmy výberu uzlov na prenos informácií medzi jednotlivými terminálmi, alebo skupinami izolovaných uzlov a smerovacie protokoly. Aktuálne využívané algoritmy na výber uzlov nezohľadňujú bezpečnosť pri ich výbere a sú založené len na štatistických a linkových parametroch ako sú parametre ETX a EAX [3,4,5].

Kognitívne Mobilné Ad-Hoc siete (CR-MANET) sú autonómne viacpreskokové siete, kde by mal byť proces voľby frekvenčného kanála na vybudovanie komunikačnej linky autonómny [6]. Výskum je zameraný na pridelovanie kanálov pre susedné uzly, ktoré môže byť náhodné alebo

nenáhodné, teda riadiace sa istými pravidlami a rozhodovacími schopnosťami každého mobilného terminálu v sieti [6]. Zároveň zabezpečujú, že vplyvom mobility nedochádza k rozpojovaniu daných spojení. V oblasti smerovacích protokolov pre hybridné MANET-DTN a CR-MANET sa budúce výskumné aktivity zamerajú na využitie sociálneho smerovania, ktoré by v procese komunikácie umožňoval využívať sociálne väzby [7].

## II. TEÓRIA HIER PRE CR-MANET

Typické charakteristiky CR-MANET zahŕňajú dynamickú topológiu, nedostatok centralizovanej autority, decentralizovanú architektúru a heterogénne uzly. Hlavnými záujmami pre výkonnosť CR-MANET sú spotreba energie, riadenie topológie, zdieľanie spektra a lokalizácia, z ktorých všetky sú zintenzívnené mobilitou uzlov. Udržiavanie CR-MANET je náročná úloha, pretože udržanie úplných a presných informácií o pozíciách uzlov a stavoch je často nepraktické. Okrem toho mobilné uzly majú zvyčajne sebecké motivácie, demonštrujú obmedzenú (alebo nedostatočnú) spoluprácu medzi sebou a navzájom si protirečia záujmy. Tieto vlastnosti robia teóriu hier (TH) sľubným nástrojom na modelovanie, analýzu a navrhovanie rôznych aspektov CR-MANET sietí. V poslednej dobe pozorujeme rastúci záujem o riešenia na báze TH pre mnohé problémy súvisiace so sieťou MANET, ako je kontrola topológie a dynamické zdieľanie spektra [8].

### A. Základné prvky teórie hier – hra

Hra môže byť definovaná ako súbor pravidiel, ktoré kontrolujú správanie sa skupiny aktívnych prvkov (agentov), a ktoré určujú ich zisky na základe rozhodnutí a činností, ktoré vykonávajú. Agent vstúpi do hry, ak jeho užitočnosť a zisky sú ovplyvnené nielen činnosťami, ktoré vykonáva, ale aj činnosťami ostatných agentov zúčastňujúcich sa na tejto hre. Hra môže byť definovaná ako situácia, v ktorej sú jednotlivci (hráči) vedení k rozhodovaniu z určitého počtu možných akcií nazývaných stratégie, kde každá stratégia je úplným opisom spôsobu, akým chce hráč hrať od začiatku do konca hry, vo vopred definovanom kontexte známom ako pravidlá hry. Výstup tejto hry predstavuje výsledok, s ktorým je spojený pozitívny alebo negatívny zisk pre každého z účastníkov. Pravidlá hry niekedy určujú poradie, v akom sa agenti rozhodujú, a určujú užitočnosť, ktorú môže mať každý agent v súvislosti s rozhodnutiami, ktoré prijíma [6].

### B. Základné prvky teórie hier – hráči

Každá osoba alebo agent, ktorý sa zúčastňuje na hre a je schopný urobiť rozhodnutie, sa nazýva hráč. Hráč môže byť agentom, spoločnosťou, vládou, spotrebiteľom, účastníkom, uzlom a podobne, v závislosti od oblasti činnosti, v ktorej sa hra koná. V teórii hier a podľa typu vzťahu medzi hráčmi môžu byť hry *kooperatívne* alebo *nekooperatívne*. Môžeme tiež rozlišovať medzi dokonalými a nedokonalými informačnými hrami v závislosti od úrovne informácií, ktoré hráč má predtým, ako sa rozhoduje. Každý hráč, ktorý sa zúčastňuje na interakciách v rámci hry, koná na vlastný účet s cieľom maximalizovať svoje záujmy podľa princípu racionality [6]. V závislosti od počtu hráčov sú tu hry pre dvoch hráčov a hry pre  $n$ -hráčov. Niekedy je užitočné explicitne zahrnúť agentov nazývaných pseudo-hráči, ktorí vykonávajú náhodné akcie vo vopred určených bodoch v hre s pravdepodobnosťou, ktorá je tiež vopred určená. Formálne je hráč označený indexom  $i$ ,  $i \in N$ . Rozšírenie na prípad nekonečného počtu hráčov nepredstavuje žiadne konkrétne problémy s dizajnom.  $N = \{1, \dots, n\}$  predstavuje všetkých hráčov a predpokladáme, že existuje určitý počet hráčov [7,8].

### C. Základné prvky teórie hier – stratégia

Pojem „stratégia“ označuje činnosti, ktoré hráč v interaktívnej hre podnikol. Inými slovami, stratégia je úplná špecifikácia správania hráča v akejkoľvek situácii. Koncept stratégie je užitočný, pretože akcie, ktoré si chce hráč vybrať, často závisia od minulých činností iných hráčov. V skutočnosti je pomerne zriedkavé predvídať činy hráča bezpodmienečne, ale často môžeme predpovedať spôsob, akým bude reagovať na vonkajšie podmienky. Stratégia hráča predstavuje súbor inštrukcií, ktoré má k dispozícii, a ktoré mu naznačujú, aké kroky je potrebné vybrať v každej možnej situácii. Existujú dva typy stratégií, a to čistá stratégia a zmiešaná stratégia. Čistá stratégia odráža akciu alebo sériu činností vybraných hráčom s istotou, zatiaľ čo zmiešaná stratégia je definovaná ako rozdelenie pravdepodobností na súbor čistých stratégií [7]. Formálne používame si na označenie stratégie hráča  $i$ ,  $i \in N$ . Takže si je to pravidlo, ktoré hovorí hráčovi  $i$ , akú akciu si vybrať v každej fáze hry. Používame  $S_i$  na definovanie súboru stratégií alebo strategického priestoru zloženého zo všetkých stratégií, ktoré má hráč k dispozícii. Preto  $S_i = \{s_i\}$ , a  $s = (s_1, \dots, s_i, \dots, s_n) \in S_1 \times \dots \times S_i \times \dots \times S_n$  je výsledkom hry,

$S = \prod_{i=1}^n S_i$ , znamená kombináciu stratégií založených na jednej stratégii na hráča. Používame  $s_{-i} \in S_{-i}$  na označenie všetkých zvolených stratégií okrem stratégie hráča  $i$  [7,8].

#### D. Základné prvky teórie hier – výsledok hry

Užitočnosť je negatívny alebo pozitívny zisk, ktorý je výsledkom činností hráča. Cieľom každého hráča v konflikte je vždy maximalizovať jeho zisk vo vzťahu k podmienkam, ktoré ho obklopujú. Užitočnosť hráča môže závisieť nielen od jeho rozhodnutí, ale aj od všetkých ostatných hráčov. Okrem toho, v závislosti od typu hry, sa môže užitočnosť prejavovať vo viacerých kvalitách; môže to byť napríklad cena na trhu, počet bodov v šachu, čas v závode, úspešnosť v škole, plat v spoločnosti, robustnosť priemyselného mechanizmu, moc fyzického javu, chybovosť digitálneho prenosu atď. Nakoniec hovoríme, že konfliktná hra je v rovnováhe, keď sú všetci hráči spokojní so získanými individuálnymi nástrojmi. V literatúre môže byť užitočnosť vyjadrená slovami zisk, úžitok, návratnosť a tak ďalej [7,8,9].

Formálne v hre  $G$  používame  $u_i(s) \in R$  na označenie funkcie užitočnosti hráča  $i$ . Môžeme teda povedať, že užitočnosť hráča  $u_i \in N$  závisí nielen od jeho stratégie  $s_i$ , ale aj od stratégií ostatných hráčov, ktoré sú zhrnuté  $s_{-i}$ . Preto môžeme napísať, že ak hráč  $i$  striktno uprednostňuje výsledok  $s$  pred výsledkom  $s'$ , potom  $u_i(s) > u_i(s')$ . A ak  $u_i(s) = u_i(s')$  hovoríme, že hráč je ľahostajný k jednému z týchto dvoch výsledkov [8].

#### E. Základné prvky teórie hier – klasifikácia

Na klasifikáciu teórie hier vplyva veľké množstvo aspektov, pomocou ktorých môžeme TH klasifikovať do nasledovných kategórií [9]:

- *Statická alebo dynamická hra*: V dynamickej hre si uzly uvedomujú svoje predchádzajúce pohyby alebo predchádzajúce pohyby iných uzlov a profitujú z nich v rôznych fázach hry, zatiaľ čo v statickej hre sa hráči rozhodujú súčasne bez akýchkoľvek vedomostí o stratégiách zvolených ostatnými hráčmi.
- *TH podľa počtu opakovaní*: Hra sa môže vykonať raz, alebo sa môže opakovať niekoľkokrát. Každé opakovanie môže byť vykonané s rovnakými alebo rôznymi hráčmi.
- *Kompletná alebo neúplná informačná hra*: K dispozícii môže byť záznam súperu a vlastné ťahy hráča počas hry. Tento typ hry sa nazýva „kompletná informačná hra“. Ak nie sú k dispozícii všetky informácie, označuje sa ako „nekompletná informačná hra“.
- *Kooperatívna alebo nekooperatívna hra*: hráči si môžu vybrať stratégiu počas hry s dohodou. Ak je dohoda medzi hráčmi uplatniteľná a praktická, hra sa nazýva „kooperatívna“ a ak nie, hra sa označuje ako „nekooperatívna“.

### III. CR-MANET A VÝBER KOMUNIKAČNÝCH KANÁLOV A UZLOV NA PRENOS DÁT

Každý mobilný uzol v sieti CR-MANET má vopred definovaný počet kanálov, ktoré slúžia na komunikáciu. Pri výbere voľného komunikačného kanála je potrebné zadefinovať viaceré vstupné parametre a predpoklady:

- *Počet kanálov pre každý uzol v sieti CR-MANET* - z týchto kanálov sa potom vyberie kanál na prenos informácií.
- *Počet kanálov medzi jednotlivými kanálmi*, aby nedošlo k rušeniu.
- *Maximálny počet dostupných komunikačných kanálov*, ktorý je rovný 3. Keďže celý program je založený na princípe využívania IEEE 802.11, tak naraz sa môže komunikovať maximálne na troch kanáloch. Jednotlivé obsadené kanály musia byť od seba vzdialené maximálne o 2 kanály, aby nedošlo k interferenciám.
- *Počet obsadených kanálov*, ktorý sa náhodne vyberie z matice, pričom obsadené kanály sa môžu rovnať od 0 až 3.

#### A. Výber voľného komunikačného kanála pre CR-MANET

Pri výbere kanála na prenos informácií v sieti CR-MANET sa musí brať ohľad na obsadené a dostupné kanály. 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. Druhým krokom je identifikácia dostupnosti komunikačných kanálov. V tomto kroku sa zisťuje, na ktorých kanáloch prebieha komunikácia a ktoré kanály sú voľné. Podľa toho sa určí, koľko kanálov je obsadených. Ak je počet obsadených kanálov rovný 0, tak všetky kanály v sieti sú dostupné na komunikáciu a náhodne sa vyberie jeden kanál z celkového počtu kanálov. Následne ak je počet obsadených komunikačných kanálov rovný 1 alebo 2, tak sú k dispozícii 2 alebo len 1 voľný kanál. Nasleduje proces, kde sa náhodne zistí, ktoré kanály sú obsadené. V ďalšom kroku sa vyberá kanál, na ktorom neprebíha komunikácia. Pri výbere

kanála na komunikáciu sa zohľadňujú obsadené kanály, takže nemôže sa vybrať kanál, na ktorom prebieha komunikácia. Vybraný kanál sa môže začať používať na prenos dát. V prípade obsadenosti všetkých dostupných kanálov v sieti, musí sa zistiť, akí používatelia na nich komunikujú (Primárni používatelia PU) a ak na obsadených kanáloch prebieha komunikácia primárnych používateľov, iný sekundárny používateľ (SU) musí čakať, kým PU nedokončia komunikáciu. Keďže PU majú prednosť pred ostatnými SU, nemôže sa prerušiť ich komunikácia. Tento krok sa bude opakovať dovtedy, kým aspoň jeden z PU nedokončí komunikáciu. Ak na obsadených kanáloch komunikujú SU, okamžite musia ukončiť komunikáciu na daných kanáloch. Ďalej prebieha náhodný výber kanála, na ktorom používateľ môže začať komunikovať. Tento proces prebehne pri každom uzle, cez ktorý prebieha smerovanie.

#### B. Výber uzlov na prenos dát v CR-MANET na báze nekooperatívnych hier

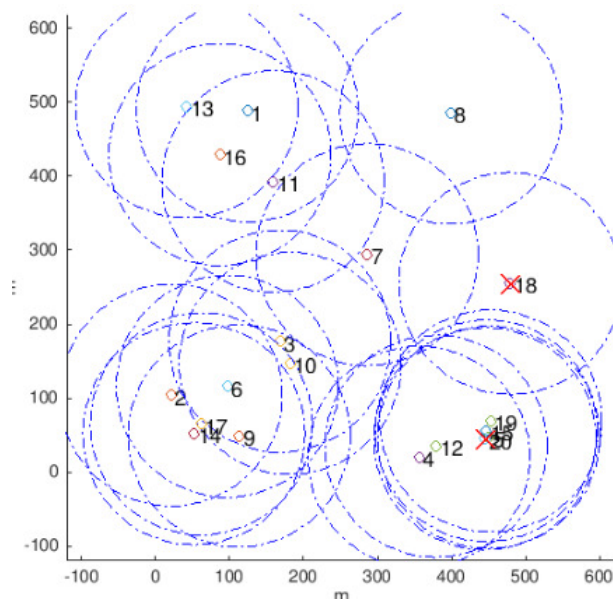
Na výber uzlov v CR-MANET sme implemetovali v prostredí MATLAB nekooperatívne hry - Hra s čestnými uzlami a hra s nečestnými uzlami [11,12,13,14]. V TH je kooperatívna hra štruktúrou, v ktorej majú hráči možnosť plánovať ako skupina pred výberom svojich akcií. Na druhej strane nekooperatívna hra je štruktúra, v ktorej hráči nemajú možnosť plánovať ako skupina pred výberom svojich akcií. V nekooperatívnej teórii hier existujú dva alternatívne spôsoby, ktorými môže byť hra reprezentovaná. Prvý typ sa nazýva hra normálnej formy alebo hra strategickej formy. Druhý typ sa nazýva rozsiahla forma hry. Bežná forma hry je každá hra, kde môžeme identifikovať tieto tri veci [12,13,14]:

- *Hráčov* - v hre sú jednotlivci, ktorí robia príslušné rozhodnutia.
- *Stratégie, ktoré má každý hráč k dispozícii* - je úplný opis spôsobu, akým mohol hráč hrať hru.
- *Užitočnosť* - je to, čo hráč dostane na konci hry, podmienené činmi všetkých hráčov v hre.

V rozsiahlych formách hry sa kladie väčšia pozornosť načasovaniu rozhodnutí, ktoré sa majú vykonať, ako aj množstvu informácií, ktoré má každý hráč k dispozícii pri rozhodovaní. Tento typ hry nie je reprezentovaný maticou, ale rozhodnutím, hrou, alebo znázornením v podobe stromu [10]. V rámci výberu vhodných bezpečných uzlov, sme jednotlivé hry upravili tak, aby do hry vstupovali nasledovné hodnoty: *Vstupnými parametrami tejto hry sú počet mobilných uzlov, rádiový dosah mobilných uzlov, počet kanálov pre každý uzol, dôveryhodnosť kanálov a stratégia hráčov*. Stratégia hráčov sa skladá z dvoch možností. Mobilné uzly počas hry majú na výber z možností stratégie. Môžu si vybrať, či sa budú podieľať na smerovaní alebo nie [14].

#### IV. DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY SIMULÁCIÍ

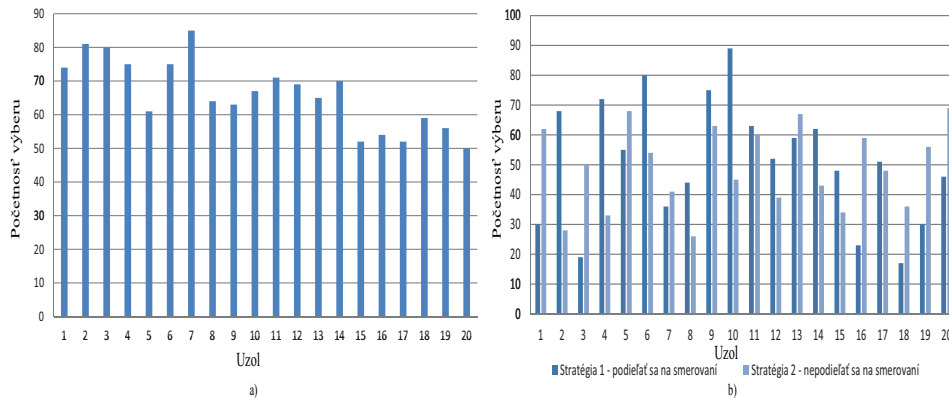
Cieľom simulácií v prostredí simulátora MATLAB je evaluácia možnosti využitia daných hier v prostredí CR-MANET. Pre overenie si činnosti sme dané simulácie opakovali 100 krát.



Obr. 1 Základná topológia siete CR-MANET.

*A. Nekooperatívna hra s čestnými a nečestnými uzlami v procese smerovania dát v CR-MANET*

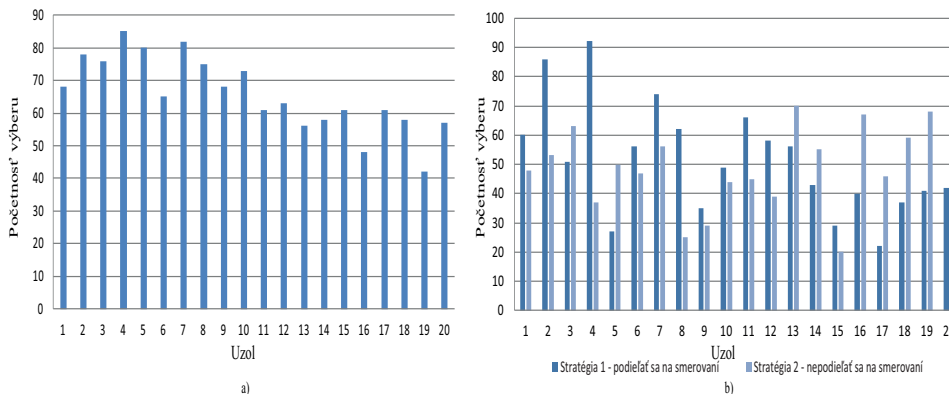
Počas simulácie sme monitorovali smerovanie cez uzly a takisto aj výber voľných kanálov. Na obr. 2a, je znázornený priemerný počet vybraní jednotlivých mobilných uzlov, ktoré sa môžu zúčastniť procesu smerovania. Na základe dosiahnutých výsledkov môžeme povedať, že uzol č. 7 bol najčastejšie vybraný ako prenosový uzol a na druhej strane najmenej využívaný bol uzol č. 20.



Obr. 2 Nekooperatívna hra s čestnými uzlami v procese smerovania: a) počet vybraných uzlov, b) výber stratégie podľa jednotlivých uzlov

Ďalej sme sledovali výber stratégií jednotlivých hráčov. Na nasledujúcom obr. 2b) je znázornený graf, ktorý nám zobrazuje, koľkokrát si vybrali jednotlivé uzly prvú alebo druhú stratégiu. Hodnoty zobrazené vyššie boli pre prípady, keď sa cesta od začiatočného po koncový uzol našla. Spomínali sme, že môže nastať aj prípad, že začiatočný uzol nenájde cestu až po koncový uzol, a to v tom prípade, ak niektorý uzol nie je v dosahu. Zistili sme, že počas 100 spustení sa 79-krát našla cesta a 21-krát neprebehlo smerovanie.

Na obr. 3 sú znázornené dosiahnuté výsledky pre nekooperatívnu hru s nečestnými uzlami. Na obr. 3a, je znázornený priemerný počet vybraní jednotlivých mobilných uzlov, ktoré môžu sa zúčastniť procesu smerovania. Na základe dosiahnutých výsledkov môžeme povedať, že uzol č. 4 bol najčastejšie vybraný ako prenosový uzol a na druhej strane najmenej využívaný bol uzol č. 19.



Obr. 3 Nekooperatívna hra s nečestnými uzlami v procese smerovania: a) počet vybraných uzlov, b) výber stratégie podľa jednotlivých uzlov

Tak ako pri prvej nekooperatívnej hre, aj pri tejto sme sledovali výber stratégií jednotlivých hráčov. Výsledkom je obr. 3b), z ktorého vieme vyčítať, že z 2000 vybraní stratégie sa prvá možnosť stratégie, t. j. podieľať sa na smerovaní, vybrala viackrát (1019-krát) ako druhá možnosť, t. j. nepodieľať sa na smerovaní (981-krát).

Pomocou hry s čestnými uzlami sme pracovali s rovnocennými uzlami, ktoré vôbec neboli škodlivé pre smerovanie v sieti. Každému uzlu bola náhodne pridelená stratégia, to znamená, či

sa bude podieľať na smerovaní alebo nie. Takisto pre každý uzol sme náhodne vygenerovali parameter dôveryhodnosti, čo určuje bezpečnosť smerovania v sieti.

Pomocou hry s čestnými uzlami sa vybrali uzly na smerovanie od začiatočného po koncový uzol, pričom sa brala do úvahy aj dôveryhodnosť jednotlivých uzlov. V tomto prípade smerovanie v sieti a výber jednotlivých uzlov môžeme považovať za bezpečný. Výsledkom tejto hry je funkcia užitočnosti pre každý uzol.

#### V. ZÁVER

Táto publikácia sa venuje problematike využívania dostupného komunikačného spektra v CR-MANET a využitie teórie hier v procese výberu vhodného uzla, ktorý by umožňoval bezpečné smerovanie. Dôraz je kladený na efektívne využívanie nekooperatívnych hier, pomocou ktorých máme nové možnosti smerovania dát medzi zdrojovým a cieľovým uzlom aj bez potreby využívania smerovacích algoritmov s podporou QoS a bezpečnosti. V súčasnosti sa teória hier môže používať aj pri snahe o zlepšenie využitia rádiového frekvenčného spektra ako aj v nových smerovacích algoritmoch pre CR-MANET a DTN.

Naše výskumné aktivity budú následne zamerané na návrhu a implementácii nových a efektívnych smerovacích protokolov, ktoré budú poskytovať optimálne smerovacie procesy umožňujúce zlepšenie robustnosti siete, zvýšenie pravdepodobnosti a zníženie času doručenia správ. Tieto zlepšenia budú vychádzať z predpokladu kooperatívnej a evolučnej teórie hier v procese smerovania, čím sa budú eliminovať zlozmyselné mobilné uzly v CR-MANET.

#### POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore Agentúry na podporu výskumu a vývoja v rámci projektu č. APVV-17-0208 - Odolné mobilné siete na doručovanie obsahu a vedeckých grantových agentúr v rámci projektov VEGA 1/0492/18 - Odolná dátová komunikácia pre krízové situácie využívajúca viacpreskokové mobilné siete a KEGA 046TUKE-4/2018 - Implementácia významných výsledkov výskumu v oblasti mobilných komunikačných technológií do výučby.

#### REFERENCES

- [1] V. Menon, V., a kol., "Ensuring reliable communication in disaster recovery operations with reliable routing technique", Mobile information systems, Vol. 2016, 2016.
- [2] J. Rak, "Resilient Routing in Communication Networks", ISBN 978-3-319-22333-9, Springer, 2015.
- [3] C. Raffelsberger, a kol., "A hybrid MANET-DTN routing scheme for emergency response scenarios", 2013 IEEE PERCOM Workshops, San Diego, CA, pp. 505-510, 2013.
- [4] A. De Domenico, a kol. "A survey on MAC strategies for cognitive radio networks", IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 14, pp. 21-44, 2012.
- [5] C. Alajeely, a kol. "Security and trust in opportunistic networks - A survey", IETE Technical Review, Vol. 33, pp. 256-268, 2016.
- [6] J. Feng, a kol., "Efficient and adaptive node selection for target tracking in wireless sensor network", Journal of sensors, Vol. 2016, 2016. doi:10.1155/2016/9152962
- [7] B. Urvee, a kol., "Energy detection based sensing and primary user traffic classification for cognitive radio", International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering, Vol. 10, 2016.
- [8] B. M. Benslama, Ad Hoc Networks Telecommunications and Game Theory, London: ISTE Ltd 2015, 2015.
- [9] A. Shah, "An Overview of Game Theory and its Applications in Communication Networks", International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering, 2012.
- [10] S. Ergun, "An Overview of Game Theory and its Applications in Network Routing", Journal of Science and Engineering, pp. 196-204, 2016.
- [11] H. Y. Taheri, "A Game Theory Approach for Malicious Node Detection in MANETs", Journal of Information Science and Engineering, 2016.
- [12] F. K. Badr Benmammar, "Game theory applications in wireless networks: A survey", Applications of Information Systems in Engineering and Bioscience, Talence, France, 2014.
- [13] J. Yan Huo, "Coalition Game-Based Secure and Effective Clustering Communication in Vehicular Cyber-Physical System (VCPS)", Electronics and Information Engineering, 2017.
- [14] W. Xiao Wang, "An Evolutionary Game-Based Trust Cooperative Stimulation Model for Large Scale MANETs", International Journal of Distributed Sensor Networks, 2013, pp. 1-16, 2013.



# Analýza rozloženia elektromagnetického poľa vo vvn elektrickej stanici

*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 meraním a počítačovým modelovaním rozloženia elektromagnetického poľa v elektrickej stanici. Medzi charakteristické veličiny, ktoré boli merané a porovnávané s národnou legislatívou boli hodnoty elektrickej intenzity a magnetickej indukcie. Obsah článku sa delí na dve časti, z teoretickej a experimentálnej časti. Teoretická časť sa zaoberá metódami modelovania a výpočtu elektromagnetických polí. Experimentálna časť sa zaoberá meraním elektromagnetického poľa v elektrickej stanici a následne modelovaním a počítačovou simuláciou v prostredí Ansys.

**Kľúčové slová** — Ansys, meranie, modelovanie, simulácia, elektromagnetické pole, magnetická indukcia, intenzita elektrického poľa

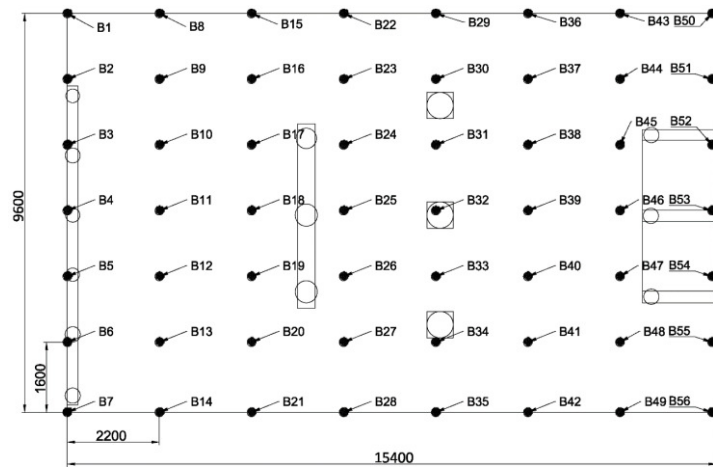
## I. ÚVOD

V dnešnej dobe sú elektrické stanice neodlučiteľnou súčasťou celej elektrizačnej sústavy. Na to, aby mohla fungovať, musí sa vopred navrhnuť a nakonfigurovať. Pri konfigurácii je dôležitý správny výber prístrojovej výbavy z dôvodu dosiahnutia nízkej expozície elektromagnetických polí (EMP). V dnešnej dobe sa v praxi veľmi neuvažuje so znížením expozície elektromagnetických polí, ktoré vplyvajú na človeka. Existujú rôzne opatrenia na zníženie expozície elektromagnetického poľa, ktoré vplyvajú na človeka. Úlohou týchto opatrení je znížiť alebo v lepšom prípade odstrániť riziká, ktoré hrozia pri expozícii elektromagnetickým poľom vyžarovaným od zdrojov. Na zistenie rozloženia elektromagnetického poľa sa v dnešnej dobe používajú rôzne metódy. Najčastejšie sa využíva fyzické meranie elektromagnetického poľa, čiže meranie magnetickej indukcie pre magnetické pole a intenzity elektrického poľa pre elektrické pole. Ďalšia metóda spočíva v modelovaní a následne v simulácii rozloženia EMP.

## II. MERANIE EMP VYBRANEJ ČASTI ELEKTRICKEJ STANICE

Na meranie elektromagnetického poľa a jej magnetickej zložky sa používal merací prístroj FW Bell model 8030 Magnetometer Gaussmeter Teslameter spolu s externou 3 osovou sondou. Použitím tohto prístroja bolo možné merať magneticú zložku EMP. Okrem merania v 3 osiach, prístroj meria aj výslednú vektorovú hodnotu, čiže vektorový súčet z týchto troch osí. Vďaka tomu je možné merať výslednú hodnotu magnetickej indukcie, ktorá pôsobí na človeka. Na meranie elektromagnetického poľa a jej elektrickej zložky sa používal merací prístroj Gigahertz Solutions ME 3840B. Hlavnou úlohou týchto prístrojov bolo odmerať rozloženie magnetickej indukcie a intenzity elektrického poľa vybranej časti vvn elektrickej stanice.

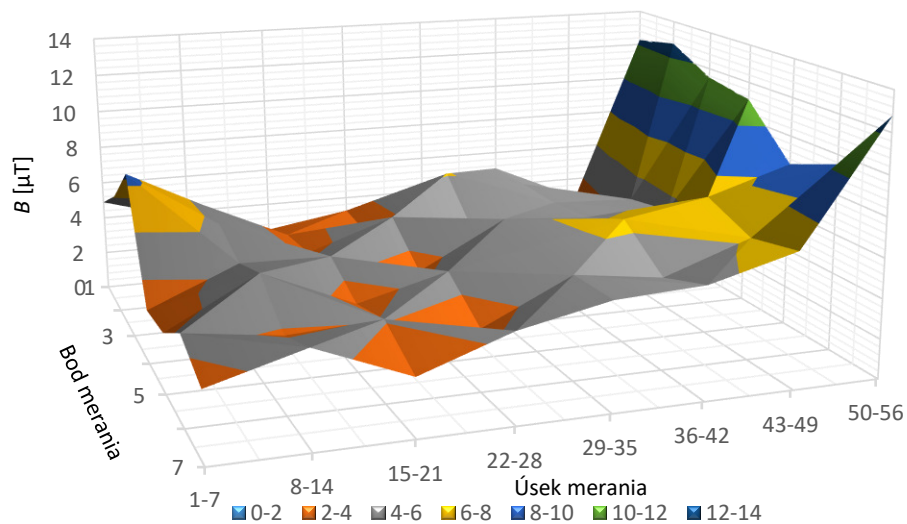
Samotné meranie sa starostlivo pripravilo. Najprv bolo potrebné sa oboznámiť s meracím pracoviskom, následne sa vybralo konkrétne pole (z viacerých polí) v elektrickej stanici, v ktorom sa meranie realizovalo. Na to, aby sa určilo koľko meraní sa uskutoční, bolo potrebné poznať rozmery meraného poľa. Využitím výpočtovej techniky sa navrhla geometria a vypočítal sa krok merania po osi  $x$  a  $y$ . Ako je možné vidieť z Obr. 1, dĺžka meracieho poľa (os  $x$ ) činila 15 400 mm a šírka (os  $y$ ) mala 9 600 mm. Zo zistených rozmerov poľa sa vybral krok merania po osi  $x$  vo veľkosti 2 200 mm a po osi  $y$  bola veľkosť kroku 1 600 mm. Pri takejto veľkosti poľa a zvolenom kroku merania, vzniklo 56 meracích bodov. V každom bode boli realizované ďalšie tri merania a to vo výške (0,3; 1; 1,8) m nad zemou. Pri meraní bolo nameraných dohromady 168 hodnôt pre elektrické pole a 168 hodnôt pre magnetické pole.



Obr. 1 Pôdorys vybraného poľa v elektrickej stanici s vyznačením bodov merania

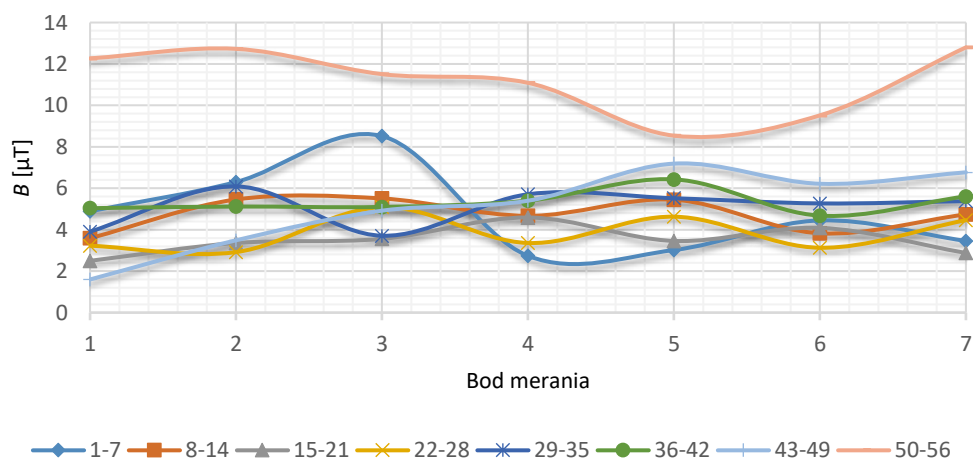
Počas merania veličín  $E$  a  $B$  teplota prostredia dosahovala hodnotu  $19^{\circ}\text{C}$  a vlhkosť vzduchu činila hodnotu  $93\%$ . Meranie intenzity elektrického poľa sa vykonávalo paralelne spolu s meraním magnetickej indukcie. Pri meraní intenzity elektrického poľa boli namerané hodnoty, podľa ktorých bolo možné zistiť, že najväčšie hodnoty sa dosahovali v mieste kolmo na vodiče. Meranie sa vykonávalo v 3 výškach, avšak toto meranie nebolo možné zrealizovať v každom bode. Limitný faktor predstavoval merací prístroj, ktorého horný merací rozsah bol do  $2\,000\text{ V/m}$ .

Rozloženie magnetickej indukcie vo výške  $0,3\text{ m}$  v elektrickej stanici



Obr. 2 Grafická závislosť nameraného rozloženia magnetickej indukcie vo výške  $0,3\text{ m}$

Rozloženie magnetickej indukcie vo výške  $0,3\text{ m}$  v elektrickej stanici



Obr. 3 Grafická závislosť rozloženia magnetickej indukcie v úsekoch merania vo výške  $0,3\text{ m}$

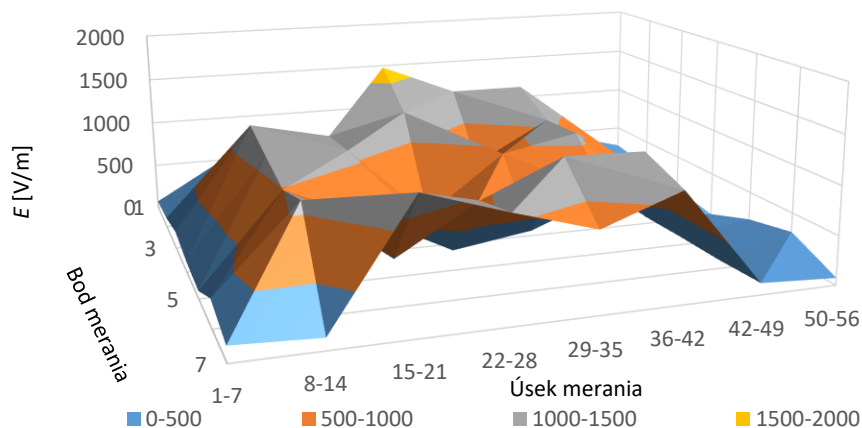
Všetky grafické znázornenia (typu 3D), ako napr. na Obr. 2 a Obr. 4, ktoré znázorňujú rozloženia magnetickej indukcie a intenzity elektrického poľa, sú orientované rovnakým smerom ako je geometria modelu na Obr. 6.

Z obrázka Obr. 2 je možné vidieť celkové rozloženie magnetickej indukcie vo výške 0,3 m nad zemou v celom vybranom poli vvn elektrickej stanice. Bodové usporiadanie hodnôt magnetickej indukcie v jednotlivých úsekoch merania, je možné vidieť na obr. 3.

Z grafickej závislosti (Obr. 2) je možné vidieť zvýšenie hodnôt v bode 3 na hodnotu  $8,52 \mu\text{T}$ . Je to z dôvodu, že bod 3 sa nachádzal kolmo pod vodičom fázy  $L_3$ . V tom čase pretekal prúd vo fáze  $L_3$  o veľkosti  $I_{L3} = 235,12 \text{ A}$ . Pri pohľade na zvyšné línie od 8-14 až po 43-49, nie je vidieť žiadnu výchylku a hodnoty majú porovnateľnú veľkosť. Z nameraných hodnôt je vidieť, že rozloženie magnetickej indukcie v meranom poli je rovnomerné. Avšak pri línii 50-56 sa hodnoty prudko, resp. rapídne, zvyšujú od hodnoty  $10 \mu\text{T}$  až po hodnotu  $14 \mu\text{T}$ . Zvýšenie hodnôt je prevažne možné pozorovať na začiatku a na konci úseku. Je to z dôvodu prítomnosti železnej konštrukcie (nosník), na ktorej sú vyvedené vodiče, ktoré smerujú von z elektrickej stanice. Maximálna hodnota  $B$  na tomto úseku bola nameraná v bode B52, čiže v druhom bode, na úseku 50-56 a to o veľkosti  $12,73 \mu\text{T}$ . V strede tohto úseku je vidieť znižovanie hodnôt až na minimálnu hodnotu  $8,54 \mu\text{T}$ . Príčinou znižovania hodnôt v strede tohto úseku je prítomnosť železnej konštrukcie, ktorá bola uzemnená.

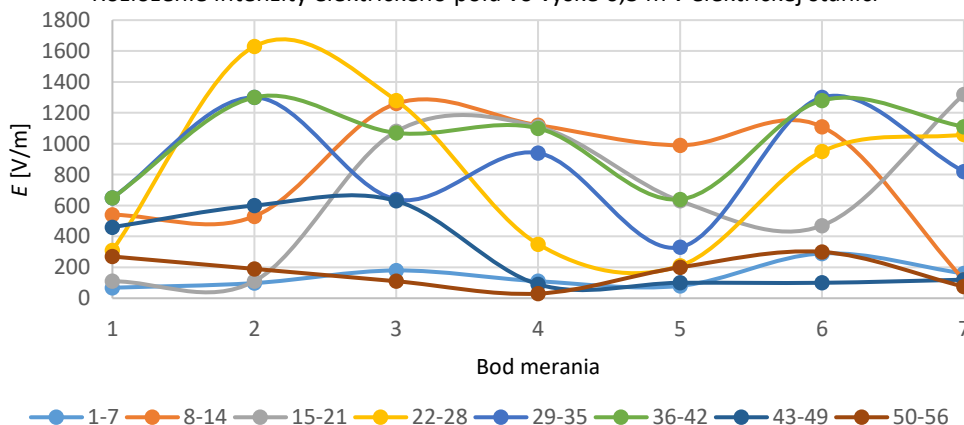
Vo zvyšných výškach (1 m a 1,8 m nad zemou) sa hodnoty magnetickej indukcie zvyšovali. Preto sa potvrdil teoretický predpoklad, že so zväčšujúcou sa vzdialenosťou medzi meracou sondou a zdrojom EMP, sa hodnota magnetickej indukcie znižuje.

Rozloženie intenzity elektrického poľa vo výške 0,3 m v elektrickej stanici



Obr. 4 Grafická závislosť rozloženia elektrickej intenzity vo výške 0,3 m nad zemou, zistená meraním

Rozloženie intenzity elektrického poľa vo výške 0,3 m v elektrickej stanici



Obr. 5 Grafická závislosť rozloženia intenzity elektrického poľa v úsekoch merania vo výške 0,3 m

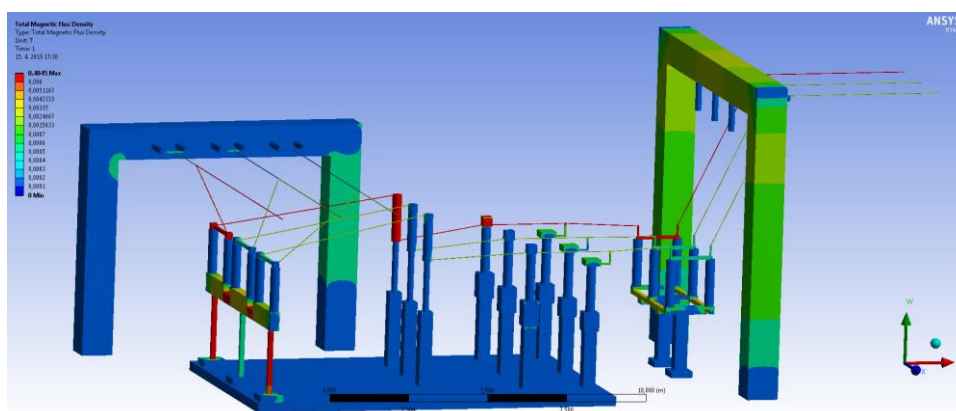
Na grafickej závislosti, ktorá sa nachádza na obrázku Obr. 5, je možné vidieť veľké výkyvy hodnôt vo všetkých úsekoch merania. Najmenšie namerané hodnoty intenzity elektrického poľa sú zaznamenané v prvom úseku merania a to v úseku 1-7 a v poslednom úseku merania, 50-56. Je to z dôvodu, že v týchto oblastiach, na začiatku a na konci poľa, nie je veľká koncentrácia káblov (fázových vodičov), ktoré by boli zdrojmi elektrického poľa. Najväčší výkyv je zaznamenaný na úseku merania 22-28, kde priebeh v tomto úseku merania dosahoval najväčší rozdiel medzi maximálnou a minimálnou hodnotou intenzity elektrického poľa. Maximálna

hodnota bola v druhom bode merania a činila hodnotu 1 630 V/m (bod B23). Táto hodnota je zároveň najväčšou nameranou hodnotou vo výške 0,3 m nad zemou. V ostatných úsekoch poľa a to od úseku merania 8-14 až po úsek merania 43-49, namerané hodnoty sa pohybujú od 400 V/m až po 1 300 V/m. V týchto oblastiach sa nachádza prístrojové vybavenie poľa elektrickej stanice. Nachádzajú sa tu rôzne nosníky a vysoká koncentrácia káblov (fázových vodičov).

Pre výšku 1 m nad zemou nebolo možné v každom bode odmerať veľkosť intenzity elektrického poľa. Hodnoty presahovali horné ohraničenie prístroja (2 000 V/m) a to už od výšok 0,65 m. Preto, ak nebolo možné odmerať hodnotu  $E$  vo výške 1 m nad zemou, meranie bolo realizované pre najvyššiu možnú výšku, kde merací prístroj ešte dokázal odmerať danú hodnotu  $E$ . Podobný prípad nastal aj pri výške 1,8 m nad zemou. Preto sa zvolil rovnaký postup merania ako pri výške 1 m nad zemou.

### III. POČÍTAČOVÉ MODELOVANIE ROZLOŽENIA EMP V PROSTREDÍ ANSYS

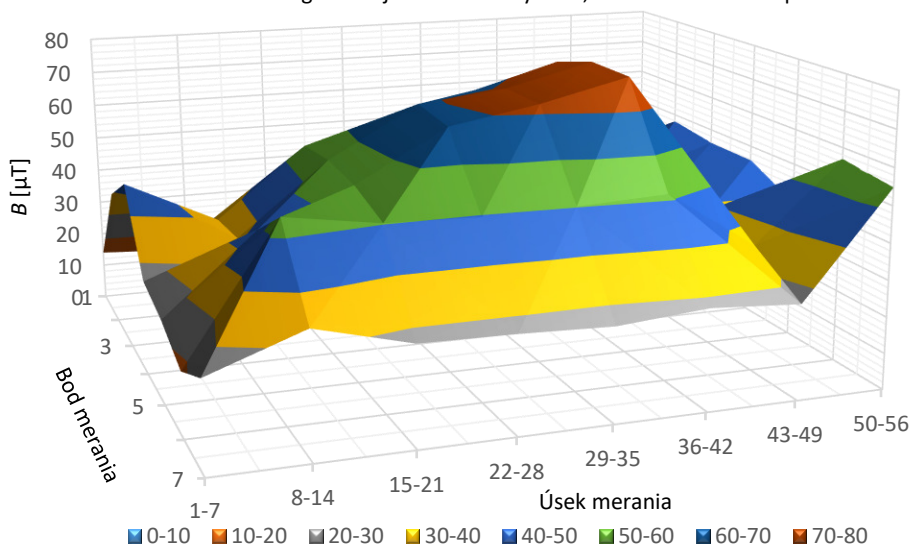
Počítačový model bol vytvorený na základe skutočných rozmerov prístrojovej výbavy daného poľa, kde sa realizovalo meranie. Do modelu sa zahrnulo aj reálne rozmiestnenie daných konštrukcií a ich vzájomné vzdialenosti. Na to, aby vznikli čo najpresnejšie a najlepšie výsledky rozloženia elektromagnetického poľa, celý návrh sa riešil v trojrozmernom formáte. Na základe časovej náročnosti na výpočtový výkon, pristúpilo sa k určitým zjednodušeniam geometrie.



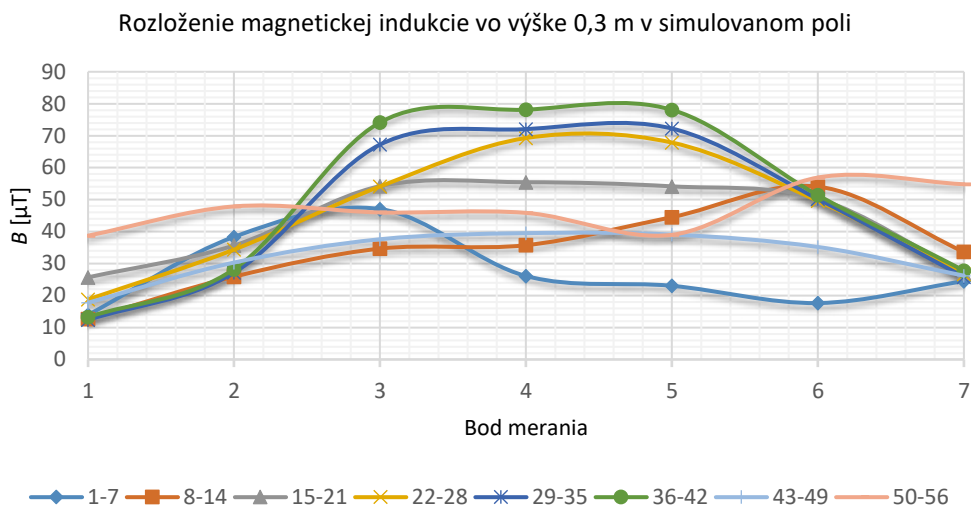
Obr. 6 Rozloženie magnetickej indukcie v meracom poli

Na obrázku Obr. 6 je možné vidieť výsledok simulácie rozloženie magnetickej indukcie vo vnútri poľa elektrickej stanice. Predmetný výsledok simulácie bolo možné získať s dostupnou výpočtovou technikou, kde je nainštalovaná licencia na softvér ANSYS (12-jadrový procesor, 96 GB RAM), po 14 dňoch (10 dní výpočet sieťovania a cca 4 dni výpočet magnetickej indukcie).

Rozloženie magnetickej indukcie vo výške 0,3 m v simulovanom poli

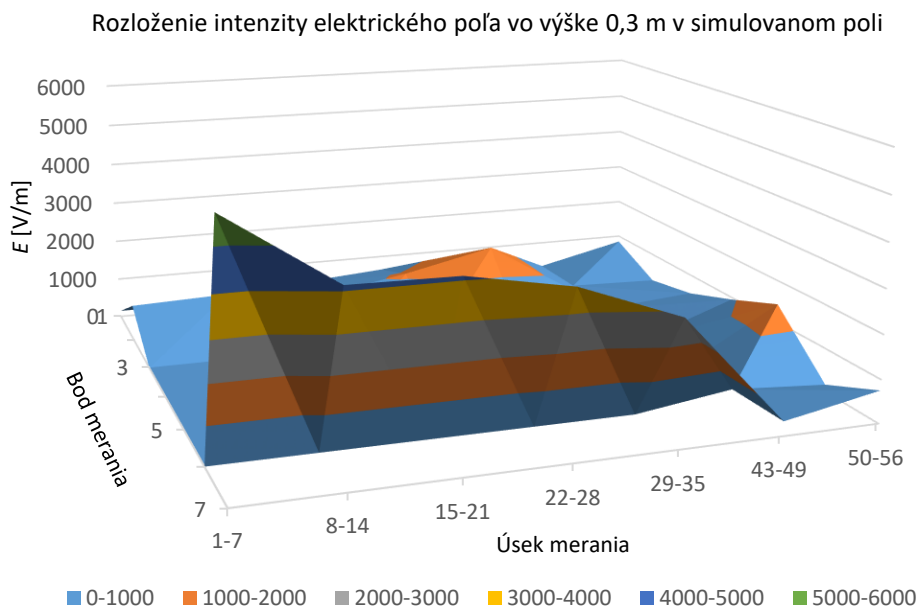


Obr. 7 Rozloženie magnetickej indukcie vo výške 0,3 m nad zemou získané počítačovou simuláciou



Obr. 8 Grafické znázornenie magnetickej indukcie v úsekoch merania v simulovanom poli vo výške 0,3 m

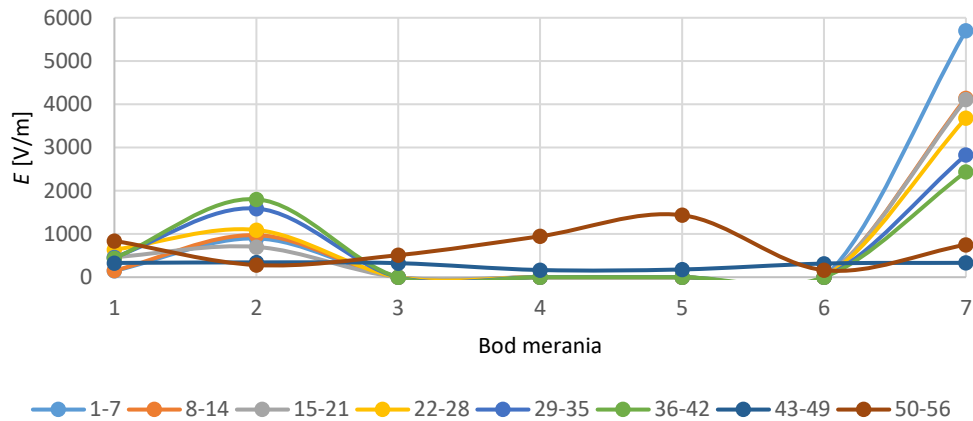
Z grafických závislostí (Obr.7) a (Obr. 8) je vidieť, že najväčšie hodnoty magnetickej indukcie boli v úseku merania 36-42. V týchto miestach dosahovala hodnota magnetickej indukcie hodnoty 70-80  $\mu\text{T}$ . V úsekoch merania od 22-28 až po 36-42 je vidieť veľké zvýšenie hodnôt magnetickej indukcie oproti ostatným úsekom. Vo zvyšných úsekoch sa hodnoty magnetickej indukcie pohybujú rádovo 10-55  $\mu\text{T}$ . Celkovo najväčšie hodnoty sa nachádzajú na tých miestach, kde sú uložené fázové vodiče. Tento vplyv vysokých hodnôt má za príčinu uzemnenie, ktoré sa nachádza pozdĺž celého poľa. Elektromagnetické vlastnosti tohto uzemnenia veľmi vplývali na výsledky simulácie. To malo za príčinu skreslenie týchto hodnôt.



Obr. 9 Rozloženie intenzity elektrického poľa v simulovanom poli vo výške 0,3 m nad zemou

Na obrázku Obr. 10 je vidieť zvýšenie hodnôt elektrickej intenzity v bode merania 2. V tomto bode sa nachádza fázový vodič  $L_3$ . Pod týmto vodičom, pozdĺž celého poľa, sa pohybujú hodnoty od 281,31 V/m až po 1 802,7 V/m. V poslednom úseku merania 50-56, sa hodnoty intenzity elektrického poľa zvyšujú v bode merania 5. Takého zvýšenie hodnôt malo za príčinu prítomnosť fázového vodiča  $L_1$ . Vo zvyšných častiach poľa sa hodnota elektrickej intenzity pohybuje okolo hodnoty 100 V/m. Najväčšie hodnoty je vidieť na konci úsekov merania a to konkrétne v bode merania 7. V každom úseku merania, v posledných bodoch merania 7, sú zvýšené hodnoty, ktoré predstavujú chybný výpočet programu Ansys z dôvodu výskytu hrany železo-betónového základu. Táto chyba sa prejavovala aj v ostatných výškach a to pri 1 m a 1,8 m nad zemou.

Rozloženie intenzity elektrického poľa vo výške 0,3 m v simulovanom poli



Obr. 10 Intenzita elektrického poľa v jednotlivých úsekoch merania v simulovanom poli vo výške 0,3 m

#### IV. ZÁVER

Tento článok sa zaoberal meraním a modelovaním rozloženia elektromagnetického poľa vo VVN elektrickej stanici. Vzniklo množstvo nameraných a simulovaných hodnôt. Namerané a vypočítané hodnoty boli porovnané so slovenskou legislatívou (vyhláška MZ SR 534/2007 Z.z. a nariadenie 209/2016 Z.z.), pričom sa zistilo, že v bodoch merania nebola prekročená hodnota magnetickej indukcie  $B$  a elektrickej intenzity  $E$  akčná hodnota expozície elektromagnetického poľa. Pri vzájomnom porovnaní nameraných a simulovaných hodnôt sa zistilo, že namerané a simulované hodnoty intenzity elektrického poľa (elektrické pole), mali najmenší rozdiel v porovnaní s hodnotami magnetickej indukcie (magnetického poľa). Hodnoty pre elektrické pole a to namerané a simulované, sa líšili v priemere 3,2-krát, kým pre magnetické pole to bolo 5,9-krát. Vzhľadom na to, že namerané a simulované hodnoty neprekračujú hodnoty definované v legislatíve, dávajú širokej verejnosti prehľad o rozložení EMP vo vvn elektrickej stanici.

#### POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR a SAV podporenej grantom VEGA 1/0372/18, VEGA 1/0435/19 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] Mayer, D., "Aplikovaný elektromagnetizmus". Nakl. Kopp, Č. Budějovice 2012. ISBN 978-80-7232-436-1
- [2] Dědková, J., "Modelování elektromagnetických polí", Vysoké učení technické v Brně, 2006, 82 strán.
- [3] Žvanda, P. "Analýza rozloženia elektromagnetického poľa vo VVN elektrickej stanici", diplomová práca. Technická univerzita Košice, 2019.
- [4] Vyhláška Ministerstva zdravotníctva SR č. 534/2007 Z.z., z 16. augusta 2007 o podrobnostiach a požiadavkách na zdroje elektromagnetického žiarenia a na limity expozície obyvateľov elektromagnetickému žiareniu v životnom prostredí.
- [5] Nariadenie vlády SR č. 209/2016 Z.z., z 1. júla 2016 o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou elektromagnetickému poľu.



# Indoor localization for visually impaired people

*Veronika-MATEJOVÁ, Dominik-LAKATOŠ, Ján-PODOLINSKÝ*

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

veronika.matejova.2@student.tuke.sk, dominik.lakatos@tuke.sk,  
jan.podolinsky@unss.sk

**Abstract** – This research is focused on implementation of bluetooth sensors inside the building - especially in the museum, which are helping visually impaired people with orientation and navigation. Using Bluetooth sensors, mobile application, special user interface, voice assistant and measuring distance from sensors, we can provide important information about content of their surroundings based on position.

**Keywords** – Bluetooth, Beacons, iOS, Swift, Museum Alone, Sam v Muzeu, blind people, visually impaired people, The East Slovak Museum

## I. INTRODUCTION

This document is analyzing use of bluetooth technology communication between beacons and mobile application to help visually impaired people to navigate and understand the content of their surrounding when visiting the museum. This system is a museum guide not only for regular visitors but especially for visually impaired visitors. System offers additional special features and detail descriptions of objects and the surrounding. Features for understanding, navigation and user experience was built with the Slovak Blind and Partially Sighted Union in Slovakia.

## II. ANALYSIS

### A. About bluetooth

Bluetooth technology is one of the wireless communications between multiple electronic devices. The latest versions which started from BLE 4.0 has low energy communication transmit. That's why it started to be used for daily, fast information transfers and had become part of the main communications between more devices. Sensors called beacons had been created to serve this type of communication. Beacons broadcast bluetooth signal and are informing the listeners about their presence. Calculating distance from received beacon signal with the mobile application (listener) we'll get precise data about position [1]. This information assists with the orientation and understanding of the content of surrounding for visually impaired user.

### B. Beacons

Beacons are devices transmitting a low power bluetooth signal. A common example of beacons is the lighthouse system. The lighthouse informs the ship of their own presence by light signals. Light signals inform the ships about the distance and presence of the nearest land [2]. This is the same system as beacons work. Their role is one - send a signal of a certain intensity. There is a lot of types. Beacons with LTE, accelerometer, temperature sensors, magnetometer, pressure sensors and more. With this additional sensors there is a lot of types where it is used. Asset tracking, vehicle tracking, proximity gateway, indoor location. For navigation inside the building were installed and used location beacons from Estimote company. For developing was used Indoor SDK and mesh bluetooth topology. The place of realisation become Eastern Slovak museum part Rodosto in Kosice, Slovakia.

### C. Mobile application

The active element in the localization system is mobile phone and developed mobile application Museum Alone. To build application for regular visitors and as well for visually impaired people required consultation with historical side - Eastern Museum in Slovakia and side consulted with Slovak Blind and Partially Sighted Union. All requirements was implemented in application. Application was developed for operating system iOS in programming language Swift.



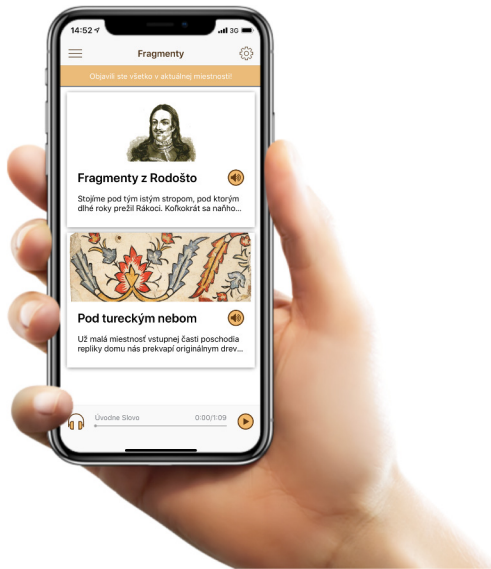


Fig. 1 Mobile application Museum Alone for iOS

#### D. Compensatory aids and Voice Over

The research of Danish University about Assessing iBeacons as an Assistive Tool for Blind People in Denmark [3] is mentioning that an estimated 285 million people worldwide have a visual impairment that cannot be corrected with traditional glasses or contact lenses. Of these 285 million, almost 40 million are completely blind. Those people are using a compensatory aids to help them to use devices as mobile phones, computers or help them with orientation. There is a devices called sonars [4] that are helping with navigation inside the building but just with measurements of how far it is to another object.

Visually impaired people use mobile phones with enabled VoiceOver or different Accessibility reader. It is important to developed accessibility enabled elements when developing mobile applications. For this is recommended to use accessibility inspector in Xcode development environment.

Each word read by the voice assistant must be tied to application elements. Elements like a button or menu have predefined reading texts. For example "Settings" will sound as soon as such an element is selected. VoiceOver offers various added features to elements. From the title, description or additional information played after a few seconds of waiting on the marked element. Different values can be assigned to these parameters in the Swift programming language. Accessibility attributes are an essential component that needs to be implemented in order to be accessible for blind user. VoiceOver uses attributes to provide users with audio information about the displayed elements in the application.

With the functionality of the accessibility inspector and Swift programming language was assigned navigation texts and navigation system to 4 accessibility attributes of elements. Accessibility label, traits, hints, value and frame.

### III. IMPLEMENTATION

#### A. Points of interests

Software libraries offer to us not only the ability to design and create the ground plan (the space in which the navigation takes place) but also the place where are the sensors and the points of interest. The point represents the location of the placed object. Important is that the action is triggered by meassuring the distance from the placed object. Mostly the position of point of interest is the real world place where a painting or another object of exposure is placed in a museum. The application will notify user when is entering the zone of interest. The zone is presented by the circle where the point of interest is in the center.

In reality it means that if user get closer to a painting (real world point of interest) than 1 meter in any direction user gets into a zone where he triggered an action. It all works on the principle of zoning. The circle represents the map area defined in the coordinate system. The ground plan of the museum with the positions of sensors and positions of the points of interest can be seen in Fig.2. The sensors are red oval and points of interests grey.

It used the dimensions of circles with a radius of 1m, 2m and 2.5 meters according to the size of the rooms and the layout of the exposure in the museum. If the circles intersect and the user

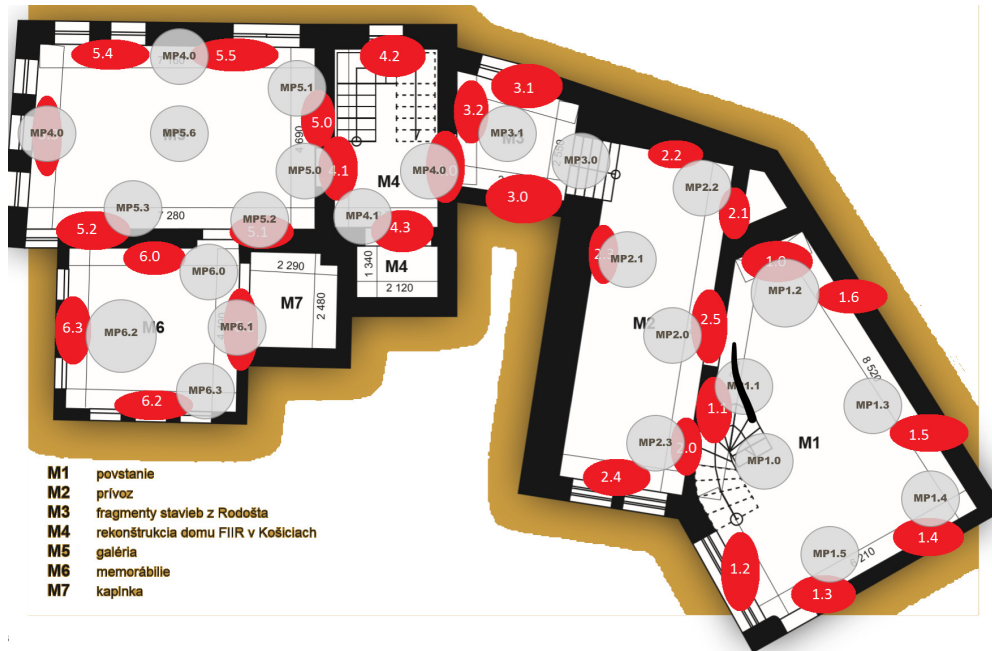


Fig. 2 Points in the ground plan of Rodosto

is presented in two or more zones of interest at the same time, it triggers the action where the distance of the user from the center of the circle is the smallest.

### B. Use of VoiceOver

With created accessibility elements, we can communicate with the blind person in application. In this accessible elements are hidden detailed descriptions. They are linked to every element in application in the specific order. First one is the description of the type and shape of a room. It is linked to image element inside the cell of major interest point. These texts are first to listen when entering the room in the museum. The detailed text of objects in the exposure are linked as well to image. In this case to minor points of interest.

So the real situation for the minor points of interests and visually impaired user with turned on accessibility assistant will look like this. When entering the room, the user unlocks the main point of interest and is greeted by an automatically played recording of historical figure. With movement of finger to the right, the focus is set to another accessible element. Discovering and exploring continues by walking inside and unlocking other cells of interest in the room.

### C. Placing sensors

An important first step is to map the space. After importing Estimote SDK libraries, you can create your own space and place sensors in it. It all takes place in the coordinate system [x, y]. The walls should be created in one line with Estimote SDK and the locations of the sensors should correspond to reality. This will produce the most accurate result. AutoCad was used for the first idea of drawing a map in a coordinate system. When positioning the sensors, make sure that there is at least one device on each wall. If the room is 5x5 meters square, the sensors are placed exactly in the middle of the 2.5 meter wall from each side best placed at eye level. It is recommended that you do not place sensors less than 30 cm [5] down from the top of the ceiling, do not place them in front of metal or wooden barriers, or lower than the user's eye level. Since sensors from Estimote - location beacons work on a mesh network, the position is calculated mathematically upon receiving signals from the sensors.

It is best to place a sensor near the zone of interest. Then it will achieve better and more accurate localization as the captured signal is more accurate. Most of the sensors in the museum are therefore located just few centimeters down from the ceiling, so that visitors cannot tear them off, and in places where is required the most accurate localization. The batteries in the sensors should be replaced after about 3 years. The first stamina test was during the winter of 2018. The museum's temperature was around 5-10 degrees Celsius and some sensors were placed on walls that were constantly cold. Their performance wasn't limit it even during winter operation. Even at low temperatures, there was no localization problem.

#### IV. TESTING

Testing of the application took place in the premises of the Koice Museum with 5 people with visual impairment + 1 external examiner who helped in the development and consultation - Ing. Jn Podolinsk. The age of respondents, how technically skilled there were, and type and level of vision impairment differed. Testers were familiar with technology at the museum's reception desk, where they also received mobile phones with pre-installed application on the iPhone SE, including headphones. From the observation we were able to get several interesting outputs. Behavior in foreign space, mutual communication, autonomy, technical skills. Their behavior was divided into several subcategories according to individual tracking, group tracking or observer evaluation.

##### A. *Observation*

The group came without their regular personal guides, who are mostly family members. They helped with each other's orientation. After they entered the place of exposure they created groups that communicated with each other while were exploring. The first was a pair of younger women (24, 41), for whom the application was easy to use from the start of exploring. The other three testers were not so proficient in technology, so they were discussing it with each other. Meanwhile, the aforementioned first group of women managed to orient themselves in the museum by themselves. They were not troubled by a staircase or different floor height. They ended the tour earlier than the second group.

##### B. *Expert evaluation*

After consultations with social rehabilitation instructor and IT administrator Ing. Jn Podolinsk, who is partially blind we evaluated the results of observation after testing. We agreed that technical knowledge is the biggest importance while using such a solution. Respondents who regularly use a voice assistant showed almost no problems or difficulties while using the app. In the questionnaire, the question of whether this application is easy to use, they answered unequivocally yes. The respondent (male, 31 years) with combined ADHD gave up at the beginning because he didn't want to learn how to use the application. Mr. Podolnsky added that it is necessary to consider that his disability is combined, so this respondent is very difficult to learn new technologies. The next respondent is a retired woman (62) who has lost her vision during her life. She mentioned that she had not used the touchscreen before and used the Nokia button phone regularly.

Since she was supposed to use the elements common to voice assistants, but first encountered this technology, it was very difficult for her to learn new things during the show itself. So she stopped using it and left the application in automatic mode. She said in the questionnaire that she would prefer the application in automatic mode without user intervention. The last examiner (a woman, 44 years old, visually impaired) does not use the voice assistants on the phone because she is not blind but she is using glasses. In her questionnaire, she expressed herself that she had no problem controlling the application and the control came easy and understandable.

#### V. QUESTIONNAIRE

Every tester answered questions in questionnaire after the testing. The results were evaluated from several factors such as age, technical fitness, disability level, subjective opinion, observation, observer evaluation. According to the answered questions and the subsequent interpretation of the answers, they are divided into several subcategories.

##### *Technical skills*

Technical skill means a lot of difference when using tech solutions. Although the users agreed this solution is easy to use, if the user has not worked with voice assistants before, or has not used a touchscreen mobile phone, he cannot manipulate with the features that have been tailored to them. However, after additional explanation it is possible to understand the application even for not technical skilled user.

##### *Age*

Age of testers played a role. For example retired tester did not use a touchscreen mobile phone before. Therefore, it was more difficult to understand how to control the application. This caused that user didn't pay enough attention on the exposure but on how to control the mobile phone. But the opposite side was a group of younger women who had no other combined disability. Without additional explanation, they quickly became familiar with the application and go to the unknown areas of the museum.

### *Disability Level*

Not every user who is visually impaired it's automatically using a voice assistant. It depends on level of disorder but the accessibility feature can be as well an enlarged font. Therefore, the apps should set the font according to phone's system size setting. The same applies to a mode called color inversion. It is a mode used by a group of visually impaired people with a certain type of vision disorder. Another of the effects is the combined disability with visual impairment. One of the testers has ADHD disorder and had a problem learning new things. Therefore, the application should not start working immediately but with more instruction of how to use it.

### *Mobile Devices*

The testing showed that the iOS application works more accurately than application in the Android operating system. Localization of users phone is more accurate and faster on the iOS. This is due to the quality of the used libraries, bluetooth antennas and the uniformity of Apple devices.

### *Future and ideas*

Ideas for app enhancements differed from each interviewee. But they together agreed on the future. To be extended to other different buildings especially to museums. Each of the respondents answered they would use solution like this again and in the different places. The first case could be public offices or hospitals, as many blind people needs to visit them regularly.

It is also possible to replace command transmitters they use right now with a mobile application to be more accessible. The app on the phone would be a cheap, affordable, and easy-to-use solution. Another important thing would be that visually impaired person would not attract the attention about his presence. It would give them more freedom and anonymity. Half the respondents would improve the museum's location on more accurate orientation. Because they would need to know their exact orientation at the object they are interested. One of the things this could ensure is use of bluetooth version 5.1. At the time of this work and this project, this version still does not exist. Bluetooth 5.1 should provide more accurate localization, including angle of rotation. Another solution is also use of phone's compass or orientation options included in Estimote software libraries. Other ideas were to place landmarks in the room or add touchable 3D objects to the museum. It's a simple addition, but both options would solve the problem of precise orientation. So the blind visitor would touch an 3D model or landmark that would inform him that his rotation to the object was correct.

## VI. CONCLUSION

Research on the use of bluetooth sensors to help with navigation for blind users contained various broad-spectrum components from different areas. It all began with studying beacons and comparison. Analysis of bluetooth communication topologies, and selection of topology for this solution. The Estimote Indoor SDK was picked with the bluetooth topology - mesh. After it was consulted with the Slovak Blind and Partially Sighted Union. This played an important role. Consultation offered a lot of information on compensation systems which they use in their daily lives and analysis of how they control their mobile phones. The East Slovak Museum in Košice and T-systems Slovakia contributed into requirements for this system.

The place of realisation was the historic Rodoto building in Košice, which is part of the East Slovak Museum. Irregular spaces, small rooms, complicated terrain were part of the problems that were solved and analyzed during implementation. The location of the sensors, the correct settings, but also the places of interest have become important elements of functionality. How to create a classic guidance app but also for visually impaired visitor? It's important to use and develop VoiceOver controls and a simple application interface for older users. From creating historical content to specifying detailed object descriptions. A project that required the opening of discussions with historians but also with the blind people. Iterations and communications created a new unique guidance system for museums. This system was subject to regular testing of different user groups. Regular visitors testing and testing with people with visual impairments on different levels. Immediately after the realization of the project Museum Alone the project gained several great successes. Not only in the circles of clients of the Slovak Blind and Partially Sighted Union or the visitors of the museum, but also in the media as TV news, in print and internet media. The project as well received the Via Bona Slovakia 2018 award in the 2018 Social Innovation category in Slovakia and the SME Award - Public Prize.

## REFERENCES

- [1] M. Pratibha Singh, M. Dipesh Sharma, and S. Agrawal, "A modern study of bluetooth wireless technology," 04 2019.
- [2] M. Murata, D. Ahmetovic, D. Sato, H. Takagi, K. Kitani, and C. Asakawa, "Smartphone-based indoor localization for blind navigation across building complexes," 01 2018.
- [3] D. B. John D. Heilbrunn, "Assessing ibeacons as an assistive tool for blind people in denmark," [https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-050115-131140/unrestricted/iBeacons\\_IQP\\_final.pdf](https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-050115-131140/unrestricted/iBeacons_IQP_final.pdf), available: 13.5.2019.
- [4] J. P. Branislav Mamojka, Milan Měchura, "Základy optimálního výberu a používania kompenzaných pomocok a asistenčných technológií pre osoby so zrakovým postihnutím," 10 2018, Študijný materiál pre pracovníkov KSÚNSS.
- [5] "Placing sensors," <http://bit.ly/2E8spih>, available: 13.5.2019.

# Porovnanie fotovoltických systémov z pohľadu výroby elektrickej energie

<sup>1</sup>Peter SARAKA, <sup>2</sup>Marek PAVLÍK

<sup>1</sup> Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika.

<sup>1</sup>peter.saraka@student.tuke.sk, <sup>2</sup>marek.pavlik@tuke.sk

**Abstrakt**— Predkladaný príspevok pojednáva o návrhu fotovoltického systému pre rodinný dom. Príspevok porovnáva tri typy fotovoltických panelov – monokryštalický, polykryštalický a amorfný. Zároveň sa článok venuje ich vzájomnému porovnaniu z pohľadu množstva vyrobenej elektrickej energie. Simulácie boli realizované pre rôzne svetové strany a pre rôzne skony fotovoltických panelov. Výsledkom je potvrdenie nasledujúcich faktov. V našich podmienkach dosahujú fotovoltické panely najvyššie množstvo vyrobenej elektrickej energie pri orientácii na juh so sklonom 30 stupňov.

**Kľúčové slová**— PV SOL, OZE, softvér pre návrh OZE

## I. ÚVOD

Nárast spotreby elektrickej energie a rozvoj vedy a techniky vedie k čoraz väčšiemu záujmu o výrobu elektrickej energie z alternatívnych zdrojov. Znižujúce sa zásoby vyčerpateľných zdrojov energie nútia verejnosť premýšľať o možnostiach využitia obnoviteľných zdrojov energie ako sú slnko, voda, vietor a biomasa. Slnko a jeho žiarenie je zdrojom s obrovským potenciálom pre ľudstvo a bez neho by nebol život na zemi. V posledných rokoch nastal veľký rozvoj v oblasti využitia energie slnka a výroby elektrickej energie z neho. Hlavnou výhodou využívania tejto energie je jej možnosť využitia takmer na každom mieste. V posledných rokoch sa stále zvyšujú možnosti rozvíjania nových technológií využívania slnečnej energie a zvyšovania účinnosti premeny slnečnej energie na iný druh energie [1].

Obnoviteľné zdroje energie majú perspektívu danú existenciou Slnka so zachovaním termodynamickej rovnováhy na Zemi. Medzi takéto zdroje patrí slnečná, veterná, vodná, geotermálna a energia biomasy. V súčasnosti rozvoj využitia týchto zdrojov rastie a pre budúce generácie majú nenahraditeľný význam, keďže zásoby fosílnych palív a jadrového paliva klesajú. Hlavnou výhodou OZE je ich neustála obnova daná existenciou slnka, ekologickosť a možnosti spojené s princípom trvalo udržateľného rozvoja. Veľa krajín v dôsledku energetických problémov prechádzajú k čoraz vyššiemu podielu využívania práve OZE. Slnečná energia má mnohonásobnú kapacitu využitia pre energetické potreby ľudstva tejto planéty[1][2].

Slnečná energia je prúd elektromagnetického žiarenia v tomto prípade nazývaného ako slnečné žiarenie vysiellané z povrchu slnka na osvetlenú stranu Zeme. Slnko môžeme považovať za čierne teleso, ktoré podľa Planckovho zákona vyžaruje energiu v celom rozsahu vlnových dĺžok odpovedajúcich vyžarovaniu čierneho telesa, z ktorého na Zem dopadne najviac energie v oblasti viditeľného žiarenia. Výkon Slnka je približne  $4 \times 10^{26}$  W, no na atmosféricky obal Zeme dopadne len malá časť tejto energie, ktorá sa nazýva solárna konštanta a činí priemerne  $1\,367$  W/m<sup>2</sup>. Pri prechode atmosférou sa táto hodnota znižuje a pri peknom slnečnom počasí na povrch zeme dopadne v čase najväčšej intenzity približne  $1\,000$  W/m<sup>2</sup>. Platí že najvyšší tok slnečného žiarenia za rok dopadá na územie okolo rovníka a smerom k pólom táto hodnota klesá. Pre Slovensko tok slnečného žiarenia je približne  $1\,055$  kWh/m<sup>2</sup> za rok, z toho najväčšia časť dopadne v letných mesiacoch[1][3][4].

## II. ROZDELENIE FOTOVOLTICKÝCH SYSTÉMOV

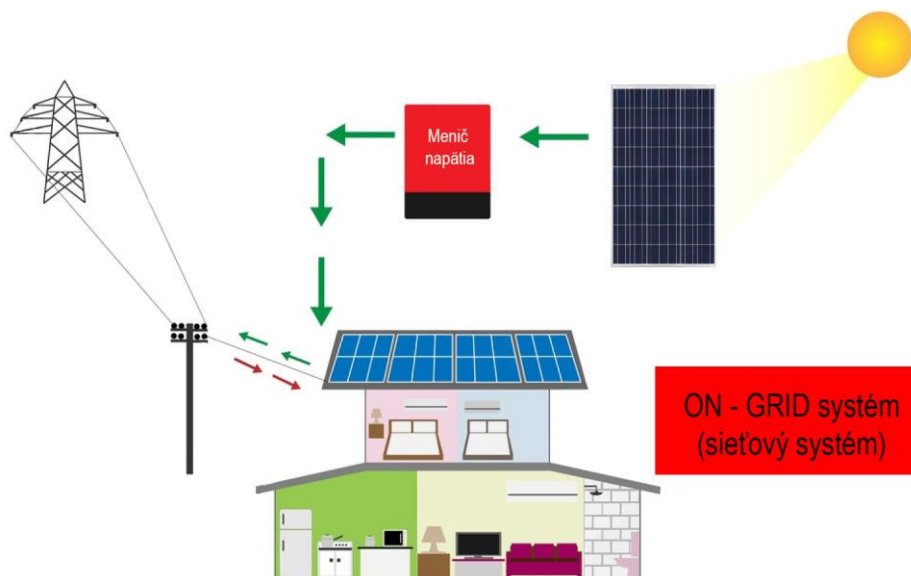
FV systémy sa môžu podľa účelu použitia rozdeliť na 3 základné skupiny.

Systém On-grid dodáva vyrobenú elektrickú energiu do elektrickej siete. FV panely sú cez

sieťový striedač a elektromer pripojené do verejnej elektrickej siete. Tento systém je určený pre priamu dodávku elektrickej energie do elektrickej siete. Dodávaný výkon sa pohybuje v jednotkách kilowattov až megawattov [1][3].

Systém Off-grid sa používa v oblastiach kde nie je dostupná verejná elektrická sieť. FV panely sú pripojené k regulátoru nabíjania na batériu, ďalej nasleduje striedač pre zmenu jednosmerného napätia na striedavé ku ktorému je napojený objekt pre ktorý vyrába daný FV systém energiu [1][3].

Hybridný systém je kombinácia systémov on-grid a off-grid(Obr. 1). Tento systém vyrába elektrickú energiu pre zvolený objekt a pri jej nedostatku odoberá energiu z verejnej elektrickej siete. Pri prebytku vyrobenej elektrickej energie môže systém dodávať energiu do verejnej elektrickej siete [1][3].



Obr. 1 Hybridný fotovoltaický systém[1]

Kremík, surovina potrebná pre výrobu FV článkov je po kyslíku najčastejšie sa vyskytujúcim prvkom na Zemi. Čistý kremík sa získava z kremičitého piesku, chemicky je kremeň oxid kremičitý  $\text{SiO}_2$  a aby sme z neho mohli získať čistý kremík, musia sa z kremeňa odstrániť atómy kyslíka za prítomnosti vysokých teplôt. Chemicky čistý kremík sa získa ďalšími chemickými úpravami na požadovanú čistotu. Najčastejšie používanými typmi FV článkov sú monokryštalický, polykryštalický a amorfny FV článok [1][2][3].

#### Prvá generácia fotovoltaických článkov

V súčasnosti je to najrozšírenejšia technológia výroby kryštalických kremíkových článkov s pomerne vysokou účinnosťou premeny energii. Ich výroba je pomerne drahá.

Monokryštalické články sú základným typom FV článkov vyrábajúce sa z vysokočistého monokryštalického kremíka. Tento kremík sa vyrába Czochralskeho metódou, ktorá je značne technicky i energeticky náročná. Účinnosť týchto článkov v sériovej výrobe sa pohybuje približne 15 % až 17 %.

Polykryštalické články sa vyrábajú odlievaním čistého kremíku do ingotových foriem a rezaním na tenké plátky. V súčasnosti sú to najpoužívanejšími typmi FV článkov hoci majú horšie elektrické vlastnosti ako monokryštalické články. Ich účinnosť sa pohybuje približne 13 % až 16 % [1][2][3].

Články vyrobené z Arzenidu Gália( $\text{GaAs}$ ) majú vyššiu účinnosť ako kremíkové články. Ich účinnosť sa pohybuje aj nad 20 % no ich nevýhodou sú vyššie výrobné náklady. Ich veľkou výhodou je že pri vyšších teplotách ne strácajú výkon tak výrazne ako kryštalické kremíkové články.

#### Druhá generácia fotovoltaických článkov

Do tejto generácie patria tenko vrstvom články, kvôli znižovaniu nákladov na ich výrobu. Tieto články sa vyznačujú nižšou účinnosťou premeny energii oproti článkom prvej generácie.

Základným materiálom tenko vrstvom článkov je Amorfny kremík( $\text{a-Si}$ ). Vyrába sa chemickým odlučovaním pri teplotách 200 °C z plynného silanu. Tieto články majú vyšší absorpčný koeficient slnečného žiarenia a vďaka ich tenkej vrstve sú dostatočne pružné a ohybné. Nevýhodou týchto článkov je ich pomerne malá účinnosť pohybujúca sa okolo 7 %.

Články vyrábané na báze Teluridu Kadmnatého( $\text{CdTe}$ ) sa vyrábajú zo zlúčeniny kadmia a telúru. Vylučovanie polovodičových vrstiev prebieha pri teplote 700°C vákuovou metódou.



Tieto články majú vyššiu účinnosť ako amorfne články a ich účinnosť sa pohybuje približne 9 % až 11 %. Ďalšou výhodou je že vplyvom zvýšenej teploty nestrácajú svoj výkon.

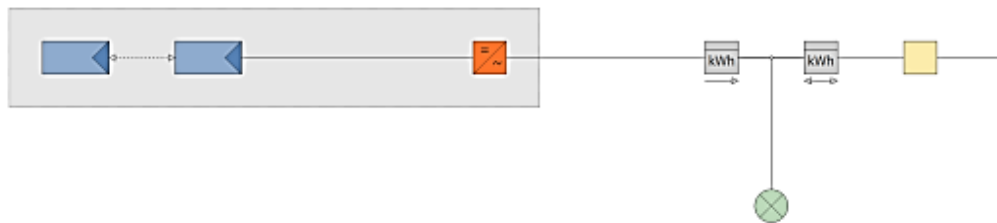
Články CIS(Copper-Indium-diSelenid) v súčasnosti dosahujú účinnosť okolo 11 %. Tieto články sa vyrábajú naparovacou technológiou vo vákuovom prostredí pri teplote asi 500°C [1][2][5].

### Tretia generácia fotovoltaických článkov

Tretia generácia FV článkov prináša snahu o čo najvyššiu efektivitu absorpcie fotónov a tým čo najlepší výkon článkov. V súčasnosti medzi najpokročilejšie články patria viacvrstvové a koncentrátorové články. Viacvrstvové články využívajú viac vrstiev, pričom každá časť využíva určitú časť spektra slnečného žiarenia. V súčasnosti sú najdostupnejšími typmi tenko vrstvové články, v ktorých jedna vrstva je tvorená amorfným a druhá mikrokryštallickým kremíkom(a-Si/ $\mu$ c-Si). Účinnosť týchto článkov v súčasnosti je približne 11 %, výhodou je menšia počiatočná degradácia [1][2][3].

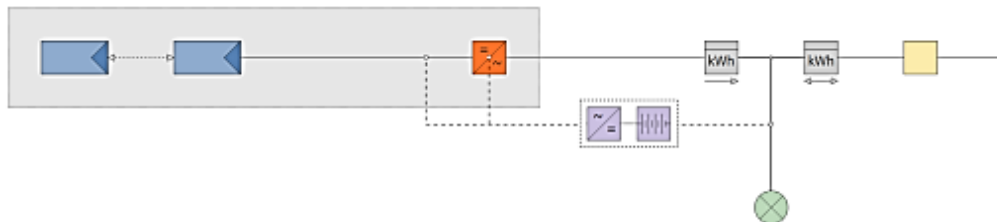
## III. NÁVRH FOTOVOLTICKÉHO SYSTÉMU

Návrh fotovoltaického systému bol realizovaný v programe PV Sol. V menu programu PV SOL sa ako prvé vyberie typ FV systému. Pri návrhu sa budú využívať dva typy systému pričom oba budú pripojené do 3 fázovej elektrickej siete s fázovým napätím 230 V. Ako prvý typ FV systému sa zvolí Grid-connected PV System with Electrical Appliances, čo predstavuje FV systém pripojený do elektrickej siete s elektrickými spotrebičmi (Obr. 2).



Obr. 2 FV systém pripojený do elektrickej siete s elektrickými spotrebičmi

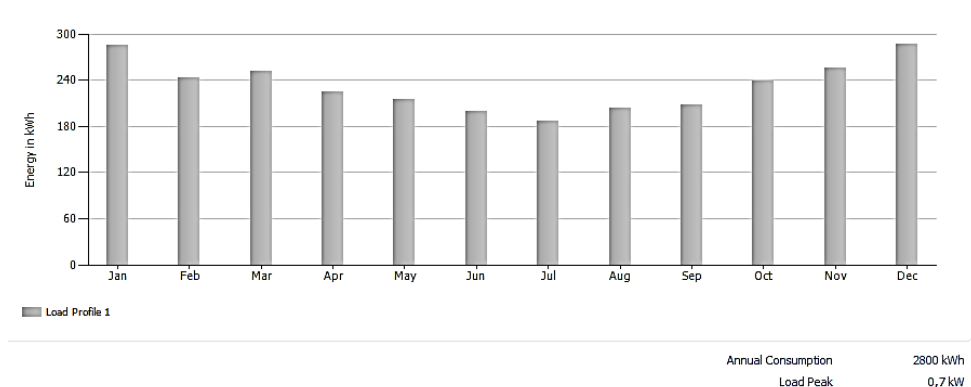
Ako druhý typ FV systému je možné zvoliť Grid-connected PV System with Electrical Appliances and Battery System, čo predstavuje FV systém pripojený do elektrickej siete s elektrickými spotrebičmi a batériovým systémom (Obr. 3). Tento systém ale nie je predmetom tohto článku.



Obr. 3 FV systém pripojený do elektrickej siete s elektrickým spotrebičmi a batériovým systémom

Výroba elektrickej energie FV systémom je závislá od klimatických podmienok v ktorých daný systém pracuje. Ďalším krokom pred samotným simulovaním je definovanie klimatických podmienok v programe. Umiestnenie objektu rodinného domu je zadané v programe ako mesto Hanušovce nad Topľou v Prešovskom kraji Slovenska. Po definovaní miesta umiestnenia objektu program PV SOL určí klimatické podmienky pre celý rok prevádzky FV systému. V tomto prípade ročná hodnota globálneho slnečného žiarenia je 1130 kWh/m<sup>2</sup> a priemerná ročná teplota je 9,2 °C.

Dôležitým údajom pri návrhu FV systému je spotreba elektrickej energie. Za obdobie jedného kalendárneho roka je spotreba elektrickej energie pre daný rodinný dom približne 2800 kWh. V programe je možné definovať zaťaženie na základe ročnej spotreby elektrickej energie a program nám následne vypočíta spotrebu v jednotlivých mesiacoch a špičku zaťaženia. V tomto návrhu program vypočítal ako špičku zaťaženia 0,7 kW čo v skutočnosti môže občasne byť aj vyššia hodnota (Obr. 4).



Obr. 4 Graf spotreby elektrickej energie

#### IV. VÝSLEDKY

V tejto časti bude porovnávaná výroba elektrickej energie pomocou rôznych panelov s rôznou svetovou orientáciou a s rôznym sklonom natočenia panela. Cieľom bude porovnať výrobu elektrickej energie FV panelmi v daných klimatických podmienkach. Z knižnic programu boli vybrané 3 typy panelov. Celkový inštalovaný výkon pri porovnaní výroby elektrickej energie je 2 kW a porovnáva sa výroba pre orientáciu smerom na sever (0°), východ (90°), juh (180°) a západ (270°). Sklon natočenia panela je 0° až 90° s krokom 15°. Výsledky simulácií výroby elektrickej energie pre monokryštalický, polykryštalický a amorfný panel sú uvedené v nasledujúcich tabuľkách.

Výroba elektrickej energie monokryštalickým panelom pri rôznej svetovej orientácii a rôznom sklone panela pre inštalovaný výkon 2 kW je uvedená v nasledujúcej tabuľke (Tab. 1).

Tab. 1 Výroba elektrickej energie pre monokryštalický panel

| Orientácia panela | Sklon panela |      |             |      |      |      |      |
|-------------------|--------------|------|-------------|------|------|------|------|
|                   | 0°           | 15°  | 30°         | 45°  | 60°  | 75°  | 90°  |
| Sever 0°          | 1814         | 1567 | 1301        | 1046 | 841  | 732  | 637  |
| Východ 90°        | 1814         | 1740 | 1658        | 1553 | 1420 | 1258 | 1073 |
| Juh 180°          | 1814         | 1979 | <b>2045</b> | 2013 | 1882 | 1657 | 1360 |
| Západ 270°        | 1814         | 1855 | 1847        | 1787 | 1672 | 1510 | 1308 |

Zo simulácie vyplýva, že najvyššia výroba elektrickej energie je pri južnej svetovej orientácii pri 30° sklone panela. Výroba elektrickej energie polykryštalickým panelom pri rôznej svetovej orientácii a rôznom sklone natočenia panela pre inštalovaný výkon 2 kW je uvedená v nasledujúcej tabuľke (Tab. 2).

Tab. 2 Výroba elektrickej energie pre monokryštalický panel

| Orientácia panela | Sklon panela |      |             |      |      |      |      |
|-------------------|--------------|------|-------------|------|------|------|------|
|                   | 0°           | 15°  | 30°         | 45°  | 60°  | 75°  | 90°  |
| Sever 0°          | 1869         | 1617 | 1343        | 1078 | 866  | 753  | 655  |
| Východ 90°        | 1869         | 1791 | 1704        | 1595 | 1457 | 1290 | 1101 |
| Juh 180°          | 1869         | 2037 | <b>2102</b> | 2068 | 1934 | 1703 | 1397 |
| Západ 270°        | 1869         | 1912 | 1904        | 1842 | 1723 | 1555 | 1347 |

Zo simulácie vyplýva, že najvyššia výroba elektrickej energie je pri južnej svetovej orientácii pri 30° sklone panela. V porovnaní s monokryštalickým panelom má polykryštalický panel mierne vyššiu výrobu elektrickej energie. Výroba elektrickej energie amorfným panelom pri rôznej svetovej orientácii a rôznom sklone natočenia panela pre inštalovaný výkon 2 kW je uvedená v nasledujúcej tabuľke (Tab. 3). Zo simulácie vyplýva, že najvyššia výroba elektrickej energie je pri južnej svetovej orientácii pri 30° sklone panela. V porovnaní s monokryštalickým a polykryštalickým panelom má amorfný panel mierne vyššiu výrobu elektrickej energie v daných klimatických podmienkach.

Tab. 3 Výroba elektrickej energie pre monokryštalický panel

| Orientácia panela | Sklon panela |      |             |      |      |      |      |
|-------------------|--------------|------|-------------|------|------|------|------|
|                   | 0°           | 15°  | 30°         | 45°  | 60°  | 75°  | 90°  |
| Sever 0°          | 1905         | 1639 | 1352        | 1080 | 866  | 754  | 657  |
| Východ 90°        | 1905         | 1825 | 1736        | 1624 | 1480 | 1307 | 1112 |
| Juh 180°          | 1905         | 2083 | <b>2154</b> | 2119 | 1977 | 1731 | 1409 |
| Západ 270°        | 1905         | 1953 | 1950        | 1888 | 1767 | 1594 | 1378 |

## V. ZÁVER

Pri realizácii FV systému pre predmetný rodinný dom by rozhodovala možná výška celkových investičných nákladov. FV systém s najnižšími investičnými nákladmi a najkratšou dĺžkou návratnosti by bol FV systém bez batériového systému s inštalovaným výkonom 600 W, zložený z amorfných panelov. Tento systém by vyrábala pomerne málo elektrickej energie a značnú časť by odoberal z elektrickej siete, no návratnosť by bola pomerne krátka.

Pri všetkých troch simuláciách sa potvrdil fakt, že najvyššie hodnoty vyrobenej elektrickej energie majú panely orientované na juh. Pri všetkých troch bola výroba elektrickej energie najvyššia, čo potvrdzujú výsledky simulácií v Tab.1, 2 a 3. Ďalej taktiež platí, že aj skon fotovoltických panelov ovplyvňuje množstvo vyrobenej elektrickej energie. Podobne bol dokázaný fakt, že najvyššie hodnoty vyrobenej elektrickej energie boli pri sklone 30 stupňov. Toto tvrdenie platí pre všetky tri typy fotovoltických panelov.

## POĎAKOVANIE

Túto prácu podporila Vedecká grantová agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied grantom VEGA č. 1/0372/18.

Táto práca vznikla vďaka podpore udeľovania grantu FEI FEI-2018-54 Vplyv materiálov na prienik elektromagnetického poľa.

## LITERATÚRA

- [1] R. Hasekhuhn, Fotovoltaika. 2016, 176 s. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [2] M. Kolcun, J. Džmura, M. Mešter a M. Pavlík, Elektrárne, 1. Vyd, Košice, 2017, 202 s., ISBN 978-80-553-3119-5.
- [3] K. Martinger, J. Truxa, Solární energie pro váš dum. 96 s., 2010, ISBN 80-86517-89-6.
- [4] Slovenská inovačná a energetická agentúra: Výhody a obmedzenia zariadení na využívanie OZE podporovaných v rámci projektu Zelená domácnostiam [online]. Bratislava: SIEA, 2018. [2019-04-21]. Dostupné na internete: <<http://www.siea.sk/podporovane-zariadenia/#>>.
- [5] M Pavlík a M. Kolcun, Predikcia ceny elektriny na burze PXE použitím RSI a MACD indikátorov, 2014, In Energetika, Vol. 64, no. 5, s. 279 – 281, ISSN 0375-8842.

# Vyhodnocovanie nameraných údajov elektrokardiografie

<sup>1</sup>Tomáš KUPEC, <sup>1</sup>Miroslav MICHALKO, <sup>1</sup>Ondrej KAINZ, <sup>1</sup>František JAKAB

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

<sup>1</sup>tomas.kupec.2@student.tuke.sk, <sup>1</sup>miroslav.michalko@tuke.sk, <sup>1</sup>ondrej.kainz@tuke.sk,  
<sup>1</sup>frantisek.jakab@tuke.sk

**Abstrakt** – Tento príspevok prezentuje jednu z možností spracovania biosignálov a detekcii kardiovaskulárnych ochorení z papierových záznamov elektrokardiogramu. Táto práca opisuje riešenie na detekciu PQ intervalu, QT intervalu a ďalších relevantných ukazovateľov, ktoré slúžia na predikciu viacerých typov zložitých arytmií a porúch srdcového rytmu. Na spracovanie obrazu bolo aplikované gaussovské rozmazanie a adaptívne prahovanie. Následne boli diagnostikované kardiovaskulárne ochorenia na základe fyziologických a časových závislostí intervalov. Na stanovenie presnosti vytvoreného riešenia bolo použitých osemdesiat jeden anotovaných záznamov z databázy PTB Diagnostic ECG. Výsledok úspešnej detekcie dosiahol hodnotu 98.77%, z čoho správne diagnostikovaných bolo 84.85% záznamov.

**Kľúčové slová** – elektrokardiografia, kardiovaskulárne ochorenia, OpenCV, predikcia

## I. ÚVOD

Myšlienka zavedenia automatickej klasifikácie EKG záznamov prišla na základe nedostatočnej interpretácie EKG záznamov hlavne u praktických lekárov, ako poukazuje vo svojom výskume Salerno a spol. [1]. Nedávne výskumy opísané v štúdií doktorom Mozaffarianom [2] ukazujú, že kardiovaskulárne ochorenia, vrátane srdcových ochorení, hypertenzie a náhleho zlyhania srdca sú hlavnou príčinou úmrtnosti vo svete. Použitie počítačovej diagnostiky na vyhodnotenie EKG záznamov bolo prvýkrát zavedené na začiatku šesťdesiatych rokov. V súčasnosti je automatická klasifikácia EKG záznamov významným faktorom pri včasnej a správnej predikcii srdcových ochorení. Výsledky automatickej klasifikácie signálov elektrokardiogramu poskytujú cenné informácie o funkčných aspektoch srdca a kardiovaskulárneho systému. [3]. Podrobnejšie pochopenie porúch srdcovej činnosti zobrazenej pomocou EKG záznamu by mohlo zvýšiť šancu na správnu diagnostiku, pretože srdcové poruchy predstavujú takmer nekonečný zoznam podozrivých vzorov. Včasné odhalenie a správna liečba tak zabráni ďalšiemu pokroku, píše Acharya. [4].

## II. INTERPRETÁCIA ÚDAJOV ZO ZÁZNAMOV ELEKTROKARDIOGRAFIE

Súčasná zariadenia s 12-zvodovým elektrokardiogramom z pravidla ponúkajú počítačové diagnostické návrhy. No stále existuje veľké množstvo starších EKG prístrojov, ktoré neposkytujú automatické vyhodnocovanie záznamov [5]. Cieľom práce je vytvorenie riešenia na spracovanie a vyhodnocovanie nameraných údajov získaných z papierového záznamu EKG. Ďalej sú uvedené niektoré diagnosticky významné nálezy odrážajúce poruchy srdcovej činnosti, ktoré slúžia k interpretácii údajov papierových záznamov elektrokardiogramu.

Srdcový impulz prejde QT intervalom pri normálnom priebehu v rozmedzí 0,35s až 0,44s. Daný časový interval platí pre srdcovú frekvenciu 60 úderov za minútu. Trvanie QT intervalu je priamo úmerné srdcovej frekvencii. So zvyšujúcou srdcovou frekvenciou sa QT interval skraca, naopak so znižujúcou srdcovou frekvenciou QT interval narastá. Pri predĺžení QT intervalu hrozí zvýšené riziko vzniku *polymorfnej komorovej tachykardie*. Pri skrátení QT intervalu hrozí riziko vzniku *fibrilácie komôr*. Riziko vzniku *fibrilácie predsiení* je spojené s nepravidelnou akciou srdcovej činnosti. *AV blokáda I. stupňa* spôsobí pravidelné predĺženie PQ intervalu na zázname elektrokardiogramu. *AV blokáda II. stupňa* postupne predlžuje PQ interval až sa v AV uzle zablokuje impulz, čo sa prejaví v absencii QRS komplexu. Pri *AV blokáda III. stupňa* dochádza k pravidelnej absencii QRS komplexu, píše Blahút [6].

### III. SPRACOVANIE OBRAZOVÝCH INFORMÁCIÍ

Cieľom bolo digitalizovať EKG záznamy za účelom predikcie kardiovaskulárnych ochorení. V procese spracovania záznamov je potrebné rozdeliť záznam na jednotlivé zvody. Zvody je nutné pomenovať a uložiť pre ďalšie spracovanie. Ďalším krokom je rozdelenie vybraných zvodov na jednotlivé vlny. Rozdelenie je vykonané za účelom odhalenia relevantných ukazovateľov. Ukazovatele slúžia na diagnostiku ochorení, ktoré sú definované podľa známych fyziologických a časových závislostí jednotlivých vln vo vybraných zvodoch.

Na návrh riešenia boli použité záznamy z databázy PhysioBank Beecardie <sup>1</sup>. Záznam obsahuje štandardných 12 zvodov, ktoré sú zobrazené na sivej mriežke reprezentujúcej čas. Jednotlivé zvody sú farebne odlíšené po trojiciach, ktoré sa opakujú. Na začiatku je zelený zvod, následne modrý zvod a nakoniec belasý zvod. Rozdielna intenzita susediacich zvodov vo farebnom spektre umožňuje presnú identifikáciu aj pri prípadnom styku zvodov, keďže práve farebné spektrum je rozhodujúcim faktorom pri spracovaní zvodov.

#### A. Rozdelenie záznamov na zvody

Na rozdelenie zvodov je preto potrebné rekurzívne spracovanie záznamu, jednotlivo pre každé farebné spektrum zvodu. Pred samotným rozdelením záznamu bolo aplikované gaussovské rozmazanie a adaptívne prahovanie, pre zvýšenie presnosti pri delení záznamu. Na detekciu zvodu bolo použité kontúrovanie prostredníctvom knižnice OpenCV <sup>2</sup>. Následne po rozdelení záznamu sú jednotlivé zvody zotriedené na základe začiatočného bodu a uložené v usporiadanom poradí. Nakoniec sú zvody pomenované a vyrezané z pôvodného obrázka. Poradie sa musí jednoznačne zhodovať s poradím v pôvodnom zázname z dôvodu správneho pomenovania zvodov.

#### B. Škálovanie farebného spektra

Záznam je pri vyššie uvedenom delení na zvody konvertovaný do odtieňov sivej. Prostredníctvom adaptívneho prahovania sú oblastiam priradené hodnoty, ktoré presne definujú jednotlivé body. To znamená, že na základe farebného spektra je možné určiť, či daná oblasť patrí krivke elektrokardiogramu alebo jej okoliu. Program postupne prechádza vstupný obrázok a vyhľadá príslušné body podľa farebného spektra. Pomocou škálovania farebného spektra sú získané body reprezentujúce krivku. Následne sú detegované body ďalej spracované.

#### C. Delenie zvodov

Na detekciu srdcových chorôb sa využíva hľadanie špecifických vzorov vo vstupnom zázname. Z toho dôvodu je potrebné delenie zvodov na jednotlivé srdcové impulzy, ktoré budú použité pri detekcii vzorov. Delenie zvodov na samostatne srdcové impulzy umožňuje získať informácie potrebné na diagnostiku srdcových chorôb.

Pravidelnosť srdcových impulzov predstavuje srdcový rytmus, ktorý je prvým znakom správneho fungovania srdca. Následne je potrebné odhaliť identifikátory srdcových chorôb priamo v priebehu srdcového impulzu. Jednotlivé zvody zobrazujú srdcovú aktivitu podľa umiestnenia na ľudskom tele. Preto pri detekcii srdcových chorôb je potrebné využiť zvody, ktoré najlepšie interpretujú priebeh impulzu pre hľadanie srdcových chorôb.

Srdcový impulz je v normálnom stave charakterizovaný presným priebehom a tvarom jednotlivých vln a segmentov. Pri poruchách dochádza k narušeniu priebehu a transformácii impulzu. Vzniká odchýlka od normálneho stavu, ktorá predstavuje potencionálny ukazovateľ srdcových chorôb. Transformácia sa prejaví v deformácii vln, ktorá môže predstavovať predĺženie, respektíve skrátenie priebehu danej časti. Rovnako dochádza k zmene tvaru vln. V istých prípadoch môže dôjsť k úplnej absencii vlny v detegovanom impulze.

V normálnom priebehu je impulz identifikovaný vlnami a kmitmi, ktoré sú oddelené segmentami, teda časťami, kedy srdce nevyšle žiaden impulz. Na identifikáciu impulzu je vhodným bodom vrchol R kmitu. A to hneď z dvoch dôvodov. Po prvé, predstavuje najväčšiu odchýlku od izoelektrickej čiary a po druhé sa prejaví vždy len v kladnej rovine. V istých prípadoch môže dôjsť k absencii R kmitu. V takom prípade sa ako ukazovateľ na identifikáciu vln použije lokálne maximum inej časti impulzu. Ak je zvod v celom priebehu negatívny nie je možné rozdeliť daný zvod na jednotlivé impulzy týmto spôsobom. Na rozdelenie zvodov na impulzy ale stačí teoreticky poznať intervaly v aspoň jednom zvode. Ostatné zvody musia symetricky obsahovať impulzy rovnakej dĺžky. Rozdelenie zvodov na jednotlivé impulzy reprezentujúce srdcovú aktivitu je tak uskutočnené na základe dominantného R kmitu.

<sup>1</sup><http://academy.beecardia.com/physiobank>

<sup>2</sup><https://opencv.org/>

#### D. Detekcia izoelektrickej čiary

Keďže v každom okamihu je zvod špecifikovaný viacerými bodmi, je potrebné získať jeden bod reprezentujúci zvod v danom okamihu. Na začiatku sú body rozdelené na maximá a minimá v každom okamihu priebehu impulzu vo vybranom zvode. Následne je v rozdelených bodoch vyhľadaná hodnota osi y reprezentujúca izoelektrickú čiaru. Za bod izoelektrickej čiary sa považuje najčastejšie sa vyskytujúca hodnota osi y v zadaných bodoch. Na základe získaných údajov je možné detegovať izoelektrickú čiaru. Ako bolo spomenuté, izoelektrická čiara predstavuje okamih, kedy srdce nevydáva žiaden impulz. To znamená, že odchýlka od izoelektrickej čiary predstavuje prejav srdcovej činnosti. Ďalej je v procese spracovania nutné odfiltrovať nepotrebné body. Začiatok a koniec jednotlivých segmentov predstavuje srdcovú činnosť, ktorú je nutné detegovať z dôvodu predikcie kardiovaskulárnych ochorení.

#### E. Detekcia intervalov

Na začiatku sú odstránené body, ktoré v skutočnosti netvorí izoelektrickú čiaru. Príkladom takýchto bodov sú body patriace QRS komplexu, respektíve R kmitu, kde hodnota osi y zodpovedá izoelektrickej čiare, ale dané body v skutočnosti nie sú jej súčasťou. Následne je v každom segmente detegovaný začiatkový a koncový bod, ktoré predstavujú koniec, respektíve začiatok ďalšieho intervalu. Na detekciu intervalov sa používa predchádzajúci, aktuálny a nasledujúci bod segmentu. V prípade ak predchádzajúci bod nie je susedom aktuálneho bodu a zároveň aktuálny a nasledujúci bod sú susedia, hovoríme o koncovom bode intervalu. Následne ak nasledujúci bod nie je susedom aktuálneho bodu a zároveň aktuálny bod a predchádzajúci bod sú susedia, hovoríme o začiatkovom bode ďalšieho intervalu. Za segment sa pritom považuje postupnosť minimálne dvoch bodov.

### IV. AUTOMATICKÁ KLASIFIKÁCIA ZÁZNAMOV ELEKTROKARDIOGRAMU

Na základe detegovaných intervalov boli predikované kardiovaskulárne ochorenia. Na predikciu ochorení boli využité fyziologické a časové závislosti intervalov a kmitov odrážajúce zvýšené riziko srdcových ochorení, bližšie opísaných v tabuľke (Tab.1). Následne sú ochorenia zapísané do textového súboru a uložené do databázy. Textový súbor obsahuje srdcovú frekvenciu, čas trvania jednotlivých intervalov a diagnostikované ochorenia. Ďalej je záznam spracovaný prostredníctvom kaskádového klasifikátora za účelom odhalenia infarktu prednej steny.

Tabuľka 1  
Fyziologické a časové závislosti intervalov a kmitov [6]

| Interval    | Trvanie        | Amplítúda | Zvody            |
|-------------|----------------|-----------|------------------|
| P vlna      | 110 (ms)       | do 2,5mm  | II, V1           |
| Q kmit      | 30 (ms)        | do 3mm    | a-VL, I, V5, V6  |
| PQ interval | 120 - 200 (ms) |           | II, V1           |
| R kmit      |                | 25 (mm)   | I, V1 - V6       |
| QRS komplex | 70 - 110 (ms)  |           | II, V1           |
| QT interval | 350 - 440 (ms) |           | II, V5, V6       |
| T vlna      |                | 15 (mm)   | III, a-VL a a-VR |

#### A. Poruchy srdcového rytmu

Na základe delenia zvodov sú získané body predstavujúce vrchol R kmitu. Ako bolo spomenuté RR interval sa používa na výpočet srdcovej frekvencie. Srdcová frekvencia udáva počet úderov za minútu (z anglického beats per minute, ďalej len BPM). RR intervaly sú určené v milisekundách, frekvencia predstavuje počet úderov za minútu. Frekvenciu je tak možné vyrátať na základe času a RR intervalu podľa vzorca  $60\,000 / RR\ interval$ , kde hodnota 60 000 sa rovná 1 minúte v milisekundách a RR interval predstavuje priemernú vzdialenosť medzi R kmitmi rovnako v milisekundách. Na výpočet BPM sú použité všetky získané RR intervaly z dôvodu dosiahnutia čo najvyššej presnosti. Na základe BPM je možné určiť srdcové choroby nazývané dysrytmie. V prípade ak počet úderov za minútu je menší ako 60 jedná sa o bradykardiu. Naopak ak počet úderov za minútu presiahne hodnotu 100 hovoríme o tachykardii.

### B. Detekcia infarktu prednej steny

Na diagnostiku akútneho a starého infarktu prednej steny bol využitý kaskádový klasifikátor. Za účelom predikcie ochorení bol implementovaný algoritmus na detekciu podozrivých vzorov v záznamoch elektrokardiogramu. Na detekciu spomenutých ochorení boli použité krivky predstavujúce hľadané choroby. Ochorenia boli diagnostikované vo zvodoch V2 až V4. Kaskádový klasifikátor bol vytvorený na základe 215 tréningových súborov. Z čoho bolo 181 pozitívnych a 34 negatívnych. Ďalej bol natrénovaný model použitý na diagnostiku podozrivých vln. Následne sú detegované podozrivé vlny zakreslené do pôvodného EKG záznamu.

### C. Predikcia AV blokády a arytmií

Na predikciu ďalších ochorení bola vytvorená trieda *Interval*, ktorá reprezentuje jednotlivé intervaly vln. Prvý parameter *diff* predatavuje trvanie intervalu. Druhý parameter *diagnose* slúži na predikciu jednotlivých ochorení. Na základe pravdivosti podmienky sa rozhoduje o výskyte jednotlivých srdcových ochorení. Predikcia ochorení je založená na dvoch spôsoboch.

Prvý spôsob hľadá ukazovatele ochorenia v celom priebehu EKG záznamu. V prípade, že je podmienka pravdivá v celom priebehu, informujeme o výskyte ochorenia. Druhý spôsob je založený na náhodnom výskyte ukazovateľov ochorenia v priebehu EKG záznamu. Ak je podmienka pravdivá aspoň raz v priebehu EKG záznamu, informujeme o výskyte ochorenia. Jednotlivé ochorenia sú uvedené v tabuľke (Tab.2).

Tabuľka 2  
Diagnostikované ochorenia

| Ochorenie                          | Spôsob detekcie | Interval      |
|------------------------------------|-----------------|---------------|
| Bradykardia                        | RR interval     | pod 60 (BPM)  |
| Tachykardia                        | RR interval     | nad 100 (BPM) |
| AV blokáda I. stupňa               | PQ interval     | nad 200 (ms)  |
| AV blokáda II. stupňa - Mobitz     | PQ interval     | pod 200 (ms)  |
| AV blokáda II. stupňa - Weckenbach | PQ interval     | striedanie    |
| AV blokáda III. stupňa             | PQ interval     | absentuje     |
| Komorová tachykardia               | QRS komplex     | nad 110 (ms)  |
| Fibrilácia komôr                   | QTc interval    | pod 350 (ms)  |
| Fibrilácia komôr                   | QTc interval    | nad 440 (ms)  |
| Torsedás de Points                 | QTc interval    | nad 500 (ms)  |
| Fibrilácia predsiení               | RR interval     | striedanie    |
| Hypertrofia ľavej predsieni        | P interval      | nad 110 (ms)  |
| Hypertrofia ľavej komory           | výška R kmitu   | nad 10 (mm)   |

## V. STANOVENIE PRESNOSTI MERANIA

Cieľom bolo objektívne stanoviť presnosť merania systému na vyhodnocovanie nameraných údajov elektrokardiografie pri diagnostike kardiovaskulárnych ochorení. Vyhodnotenie sa opiera o merania a štatistické metódy.

### A. Vzorka záznamov

Na vyhodnotenia riešenia boli rovnako ako na návrh riešenia použité záznamy z databázy PhysioBank Beecardia. Konkrétne boli použité anotované záznamy z databáz PTB Diagnostic ECG a St. Petersburg Institute of Cardiological Technics. Overenie bolo vykonané na vzorke pacientov, ktorá obsahuje 81 záznamov od 72 subjektov, ktorý boli vo veku od 23 do 78 rokov. Priemerný vek tak bol 57,2. Z čoho bolo

- 49 mužov, ktorých priemerný vek bol 54,1 rokov,
- 23 žien, ktorých priemerný vek bol 60,8 rokov.

Anotované záznamy zahŕňajú viaceré kardiovaskulárne ochorenia, ako napríklad poruchy predsiení, komôr a srdcového rytmu. Rovnako boli na vyhodnotenie použité záznamy získané pri zdravotných kontrolách s cieľom zistiť, či systém neodhalí žiadne ochorenia v záznamoch zdravých pacientov. Ďalej je uvedený zoznam diagnostikovaných ochorení zahrnutých vo vyhodnotení riešenia. V zátvorkách je uvedený počet záznamov.



### B. Vyhodnotenie nameraných údajov

Presnosť diagnostiky kardiovaskulárnych ochorení bola stanovená prostredníctvom metódy experimentálneho overenia z dôvodu objektívneho potvrdenia splnenia stanovených cieľov práce. Vyhodnotenie je preto vykonané na vzorke záznamov, pre ktorú je riešenie vytvárané. Overenie vo forme experimentu počíta s kvantifikáciou prínosov na základe objektívneho hodnotenia.

Úspešnosť predikcie jednotlivých kardiovaskulárnych ochorení zahrnutých do vyhodnotenia práce je uvedená v tabuľke (Tab.3). Nasleduje opis priebehu vyhodnotenia a opis prínosov práce určených na základe výsledkov vyhodnotenia.

Tabuľka 3  
Vyhodnotenie úspešnosti predikcie ochorení

| Ochorenie                | Počet záznamov | Presnosť diagnostiky |
|--------------------------|----------------|----------------------|
| Bradykardia              | 19             | 89.47%               |
| Tachykardia              | 7              | 71.43%               |
| Fibrilácia predsiení     | 21 (20)        | 85%                  |
| Fibrilácia komôr         | 13             | 84.62%               |
| Hypertrofia ľavej komory | 7              | 85.71%               |
| Zdraví pacienti          | 14             | 92.86%               |
| Vyhodnotené záznamy      | 81 (80)        | 98.77%               |

Anotované záznamy pacientov boli nahrané do webového rozhrania a vyhodnotené predikčným systémom. Celkovo bolo vyhodnotených 80 z 81 záznamov, čo predstavuje 98.77% mieru vyhodnotenia záznamov. Nevyhodnotený záznam obsahoval prekrytie viacerých zvodov, z toho dôvodu nebolo možné detegovať potrebné zvody. Konkrétne sa jedná o záznam s anotovanou fibriláciou predsiení. Tento záznam nebol zahrnutý do výsledku presnosti merania pre dané ochorenie.

Najvyššia presnosť merania, až 92.86%, bola pri záznamoch zdravých pacientov. Systém neodhalil žiadne ochorenia v daných záznamoch. V istých prípadoch sa objavili hraničné hodnoty bradykardie, ktoré neboli zahrnuté do konečného hodnotenia, keďže srdcová frekvencia dosahovala normálne hodnoty pri pokojovom stave pacienta. Presnosť merania ďalších skúmaných ochorení sa pohybovala od 71.43% do 89.47%. Najnižšia presnosť merania bola pri záznamoch s diagnostikovanou tachykardiou. Výsledná hodnota bola ovplyvnená malým počtom záznamov pre dané ochorenia. V negatívnych záznamoch bola detegovaná hraničná hodnota normálnej srdcovej frekvencie do 100 úderov za minútu. Celkovo vznikli negatívne záznamy hlavne na základe hraničných hodnôt pre jednotlivé ochorenia. Ďalším aspektom, ktorý ovplyvnil presnosť merania jednotlivých ochorení, bola miera detekcie intervalov. Systém v daných prípadoch nedokázal správne určiť ukazovatele intervalov, na základe čoho nedokázal diagnostikovať ochorenia.

Celková miera presnosti diagnostiky kardiovaskulárnych ochorení je na úrovni 84.85%, čo predstavuje vysokú mieru správnej predikcie. Výsledok vyhodnotenia tak potvrdil stanovené ciele práce, keď presnosť merania dosiahla uspokojivé hodnoty pre jednotlivé aspekty overenia.

## VI. ZÁVER

Cieľom realizovaných činností bolo vytvoriť riešenie na predikciu kardiovaskulárnych ochorení z papierových záznamov elektrokardiogramu. Potreba vytvorenia riešenia na vyhodnocovanie nameraných údajov elektrokardiografie prišla na základe nedostatočnej interpretácie EKG záznamov u praktických lekárov a vysokej úmrtnosti na kardiovaskulárne ochorenia. Na začiatku boli analyzované viaceré metódy na interpretáciu údajov získaných zo záznamov elektrokardiogramu, ktoré slúžia na diagnostiku kardiovaskulárnych ochorení. Následne bola získaná vzorka EKG záznamov, ktorá bola použitá pri návrhu riešenia.

Za účelom vytvorenia najvhodnejšieho riešenia bolo potrebné detegovať hlavné ukazovatele kardiovaskulárnych ochorení. Na začiatku bol EKG záznam rozdelený na jednotlivé zvody prostredníctvom funkcií knižnice OpenCV. Následne boli získané body reprezentujúce vybrané zvody. Ďalej bolo nutné spracovať získané body, za účelom získania ukazovateľov, ktoré slúžili k predikciou ochorení. Detegované boli jednotlivé intervaly EKG krivky, ktoré predstavujú priebeh impulzu po srdci. Nakoniec boli predikované ochorenia na základe odchýlky od normálneho priebehu srdcovej činnosti v jednotlivých intervaloch. Diagnostikované boli poruchy srdcového rytmu, AV blokády a arytmie. Vyhodnotenie riešenia prebehlo na vzorke 81 záznamov. Záznamy neboli použité pri návrhu systému, pričom zahŕňali viaceré kardiovaskulárne ochorenia ako poruchy srdcového rytmu a arytmie. Celková miera vyhodnotenia záznamov dosiahla hodnotu 98.77%. Presnosť systému na predikciu kardiovaskulárnych ochorení bola stanovená na 84.85% voči referenčným vzorkám.

Hlavným prínosom práce je vytvorenie inovatívneho riešenia na predikciu kardiovaskulárnych ochorení. Ďalším prínosom práce je prepojenie diagnostických systémov prostredníctvom webového rozhrania, čo umožňuje používateľovi jednoduchý prístup k systému cez webový prehliadač. Návrhom na zvýšenie presnosti systému je zlepšenie algoritmov na detekciu jednotlivých intervalov.

#### POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií - II. fáza, ITMS2014+: 313011D232, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

#### LITERATÚRA

- [1] S. M. Salerno, P. C. Alguire, and H. S. Waxman, "Training and competency evaluation for interpretation of 12-lead electrocardiograms: recommendations from the american college of physicians," *Annals of internal medicine*, vol. 138, no. 9, pp. 747–750, 2003.
- [2] D. Mozaffarian, E. J. Benjamin, A. S. Go, D. K. Arnett, M. J. Blaha, M. Cushman, S. R. Das, S. de Ferranti, J.-P. Després, H. J. Fullerton *et al.*, "Heart disease and stroke statistics 2016 update: a report from the american heart association," *Circulation*, pp. CIR-000000000000350, 2015.
- [3] X. Tang and L. Shu, "Classification of electrocardiogram signals with rs and quantum neural networks," *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, vol. 9, no. 2, pp. 363–372, 2014.
- [4] U. R. Acharya, V. K. Sudarshan, J. E. Koh, R. J. Martis, J. H. Tan, S. L. Oh, A. Muhammad, Y. Hagiwara, M. R. K. Mookiah, K. P. Chua *et al.*, "Application of higher-order spectra for the characterization of coronary artery disease using electrocardiogram signals," *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 31, pp. 31–43, 2017.
- [5] T. Novotny, R. Bond, I. Andrsova, L. Koc, M. Sisakova, D. Finlay, D. Guldenring, J. Spinar, and M. Malik, "The role of computerized diagnostic proposals in the interpretation of the 12-lead electrocardiogram by cardiology and non-cardiology fellows," *International journal of medical informatics*, vol. 101, pp. 85–92, 2017.
- [6] P. Blaht, "Ekg arytmolgia," *TECHMED*, vol. 112, no. 5, p. 1400, 2017.

# Number Recognition and Writing Using a Nao Robot

*Norbert FERENČÍK, Ján MAGYAR*

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

norbert.ferencik@tuke.sk, jan.magyar@tuke.sk

**Abstract** – The main goal of this paper is to describe a robotic system that recognizes Arabic numerals and writes their Roman numeral counterparts on a paper. The paper describes the methods used for recognizing and writing numerals for which we used the humanoid robot Nao and its software tool Choregraph. We stored specific number patterns in a local database on the robot and later used the Vision Reco function block.

**Keywords** – vision recognition, text-to-speech, writing, teaching

## I. INTRODUCTION

Humanoid robotics is an emerging and challenging research field, which has received significant attention during the past years and will continue to play a central role in robotics research and in many applications of the 21st century. Regardless of the application area, one of the common problems tackled in humanoid robotics is the understanding of human-like information processing and the underlying mechanisms of the human brain in dealing with the real world. A humanoid robot is a robot that has a human-like shape. Since many robots in science fiction look like humans, a humanoid robot may be the default of robots for most people. On the other hand, acceptance by humans is not the only aspect that must be considered for robotic applications, the required functions for a robot may also determine the robot's optimal shape [1].

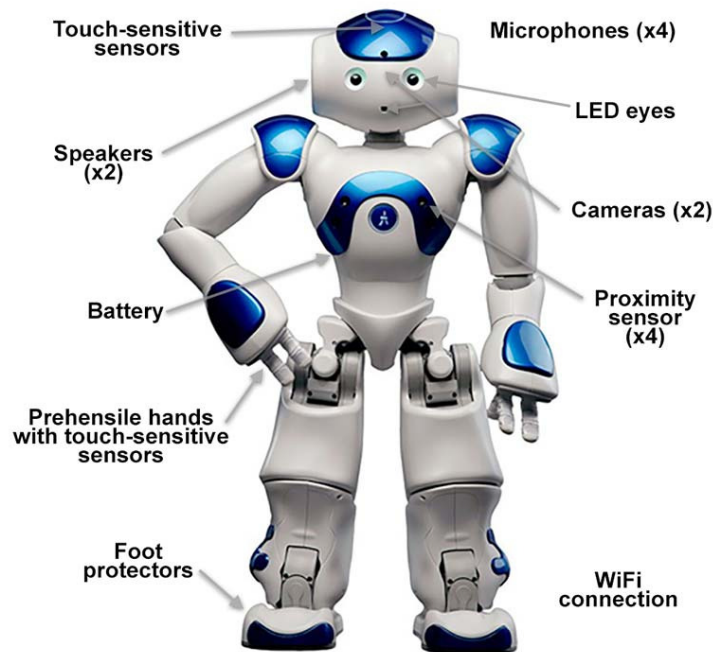


Fig. 1 Nao Robot and its sensor systems

Nao (see Fig. 1.) is an autonomous, programmable humanoid robot developed by Aldebaran Robotics, a French robotics company headquartered in Paris, which was acquired by SoftBank

Group in 2015 and rebranded as SoftBank Robotics. The robot's development began with the launch of Project Nao in 2004. Nao was used in RoboCup 2008 and 2009, and the NaoV3R was chosen as the platform for the SPL at RoboCup 2010 [2].

The various versions of the Nao robotics platform feature either 14, 21 or 25 degrees of freedom (DoF). A specialised model with 21 DoF and no actuated hands was created for the Robocup competition. The Nao robot described in this paper is 0.574 meter high and weighs 5.4 kg. It has 14 degrees of freedom, 2 head speakers, one front and rear microphone, infrared sensors, ultrasound sensors and touch sensors. It has 2 cameras on its head, one in between eyes and one is integrated in the vicinity of the robot's mouth. Servo motors operate the robot's movement actions. The robot has a built-in ATOM Z530 1.6GHz processor, WiFi and Ethernet connectivity, an accelerometer, a gyro sensor, a compass, an infrared distance sensor, and a 2D distance and gesture sensor. All Nao Academics versions feature an inertial measurement unit with accelerometer, gyrometer and four ultrasonic sensors that provide Nao with stability and positioning within space. The legged versions included eight force-sensing resistors and two bumpers. The most recent version of the robot, the 2014 Nao Evolution, features stronger metallic joints, improved grip and an enhanced sound source location system that utilizes four directional microphones [3]. Nao is available as a research robot for schools, colleges and universities to teach programming and conduct research in human-robot interaction.

For the application presented in this paper we used arm and hand servo motors, one camera and speakers. Our aim was to create a robotic system that can be used as an aid in education, namely in teaching children Roman numerals. The rest of the paper is structured as follows: Section II presents an overview of related work, Section III describes the design of the robotic system and the algorithm used in it, Section IV lists the results of primary tests with the robotic system, and Section V concludes the paper.

## II. RELATED WORK

Robots have been used as teachers or social partners to promote children's learning in a range of contexts, most commonly related to language skills [4], and less often to physical skills (such as handwriting and calligraphy). This trend was supported by observations that children are less hesitant to talk to a robot in a foreign language because of a lower perceived social risk [5]. Robot tutors were effectively used in teaching English as a second language as well with students learning with robots showing superior learning gain and retention rate [6].

The work of Severin Lemaignan and Alexis Jacq [7] used the paradigm of learning by teaching to offer students handwriting remedies. This work differs from "learning from demonstration" approaches since the agent they present is only simulating poor fine motor skills for interaction purposes [8]. By demonstrating handwriting to a robot, the authors aimed to improve the child's performance. The reversed roles had positive psychological effects on the children that was observable in increased self-esteem and motivation. The robot's behavior was adapted to the child's needs and was used to control the learning curve. The study showed that the learning by teaching paradigm can be transposed to a social robotics setting.

A robotic learning agent which employs the learning by teaching paradigm has previously been developed by Tanaka and Matsuzoe [9]. In their system, children learn vocabulary by teaching the Nao robot to act out verbs. The robot is teleoperated (Wizard of Oz [10]) and mimics the actions that the children teach it, but with no long-term memory or learning algorithm in place. Their project significantly extends this line of work in two ways. First, by investigating the context of children's acquisition of a challenging physical skill (handwriting), and second by proposing a robotic partner which is fully autonomous in its learning.

## III. APPLICATION DESIGN AND SOFTWARE ALGORITHM

The first step in creating the application was training Nao's visual recognition mechanism. This was done by showing pictures of Arabic numerals and subsequently sending information about the shapes of these numbers to a local Nao database. This information is needed for actual teaching as specific shapes represent specific numbers for the Nao robot. It is also possible to export the database from Nao's memory to another device, making the visual recognition training necessary only on one physical robot.

The next step was necessary for the robot's movements. In this part of our project we taught Nao how to write the saved numerals using the built-in functionality Timeline. This functionality allowed us to continuously save marked locations highlighted on a whiteboard using the robot's Animation mode. Kinematic movement between these points was calculated automatically. Automatic calculations are included in Timeline block functionality (See Fig. 2 and Table 1).

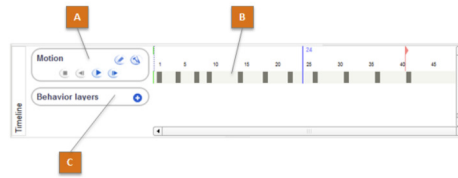


Fig. 2 Timeline interface and block functionality (description in Table 1)

Table 1  
 Explanation of timeline interface.

| Part | Name            | Description  |
|------|-----------------|--|
| A    | Motion          | Allows the definition of Motion Key frames.  |
| B    | Time ruler      | Represents the time elapsing when the box is started.                                    |
| C    | Behavior layers | Allows the definition of Preview Mode to be executed in parallel with Motion Key frames. |

The teaching process was effortlessly done via the Timeline block functionality. First, we toggled the animation button and the robot switched to learning phase. In this phase we set how the robot would move its hand. This was done by setting several fixed positions by pushing NAO’s chest button and the joint values of its limb joints were saved into the timeline time ruler. The trajectory between these positions was solved by a built-in solver. At the end of this phase we got NAO to its default position and tried the movements that we taught the robot and if they were acceptable, the timeline block was saved in the main program.

We decided to add further dimensions to the human–machine interaction between the robot and a human. One of these add-ons is conversion from visual information to text and then to voice using text-to-speech. Nao recognizes Arabic numerals written on paper and writes the corresponding Roman numerals. Writing is accompanied with a sound that informs us about the success of visual recognition. Our application was designed in the software tool Choreograph provided for Nao robots. This tool offers a user-friendly environment with lots of additional functionality linked with Nao’s sensors and actuators. Built-in function blocks offer a variety of reactions to various situations which include sound or movement responses.

#### IV. EXPERIMENTS RESULTS

Primary tests of the robotic system described in the previous section showed that our implementation meets the desired outcome. The writing platform we used was placed horizontally in front of Nao, it consists of a book pedestal, and paper on top (See Fig. 4). The robot successfully identified all trained numerals, generated a sound response, and wrote the corresponding Roman numerals on paper. The drawn Roman numerals are easily identifiable (See Fig. 3).

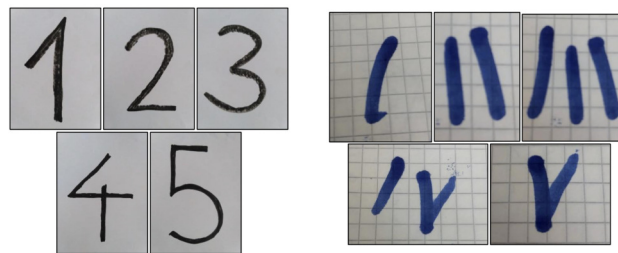


Fig. 3 Arabic numerals (left), and Roman numerals written by Nao (right).

The hand grip of the robot was not strong enough to hold the marker securely. This problem was the most prominent when the robot moved its hand towards its body and the marker was positioned vertically against the writing pane. When performing this motion, the marker always slipped from the robot’s hand or moved a little bit and the readability of the written numeral decreased. Therefore we used a lace to tie the marker to the robot’s hand at a specific angle.

Another issue that became apparent during tests was the triggering of visual recognition multiple times in a short interval. This problem was resolved by using a wait block that ensured that the signal observed by the robot was first accumulated and only later processed. This approach was successful in limiting the number of times the robot recognized the same numeral.

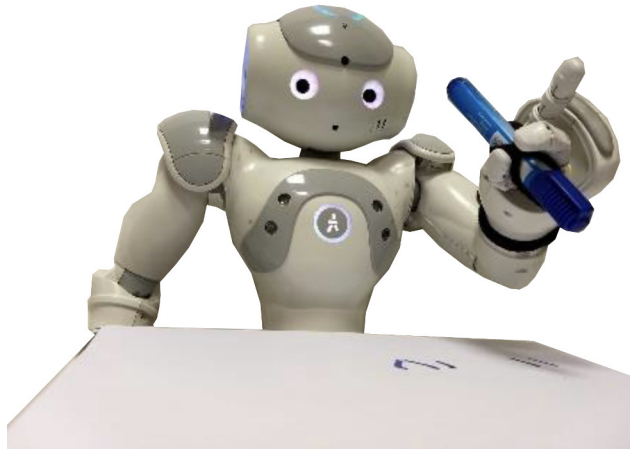


Fig. 4 Robot Nao holding a tied marker.

## V. CONCLUSION

In this paper we presented a robotic system with the humanoid robot Nao that is able to recognize Arabic numerals and write their corresponding Roman numeral on a paper. The robotic system underwent primary tests with the first results showing that the application works correctly and is ready for further testing. Future research includes testing and evaluating the application in a real-life setting, e.g. in a primary school as a teaching aid for children learning about Roman numerals. Another possible extension would be to enable the system to recognize whole numbers written using Arabic numerals and write their equivalent in Roman numerals.

## ACKNOWLEDGMENT

We would like to extend our sincere gratitude to our students Jakub Geľo, Ľudovít Hil'ovský, Juraj Líška, and Marek Mačuga who worked on the first version of the system presented in this paper.

## REFERENCES

- [1] S. Kajita, H. Hirukawa, K. Harada, and K. Yokoi, *Introduction to humanoid robotics*. Springer, 2014, vol. 101.
- [2] G. Majgaard and L. B. Bertel, "Initial phases of design-based research into the educational potentials of nao-robots," in *2014 9th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*. IEEE, 2014, pp. 238–239.
- [3] S. Shamsuddin, H. Yussof, L. Ismail, F. A. Hanapiah, S. Mohamed, H. A. Piah, and N. I. Zahari, "Initial response of autistic children in human-robot interaction therapy with humanoid robot nao," in *2012 IEEE 8th International Colloquium on Signal Processing and its Applications*. IEEE, 2012, pp. 188–193.
- [4] T. Belpaeme, P. Vogt, R. Van den Berghe, K. Bergmann, T. Gökşun, M. De Haas, J. Kanero, J. Kennedy, A. C. Küntay, O. Oudgenoeg-Paz *et al.*, "Guidelines for designing social robots as second language tutors," *International Journal of Social Robotics*, pp. 1–17, 2018.
- [5] C.-W. Chang, J.-H. Lee, P.-Y. Chao, C.-Y. Wang, and G.-D. Chen, "Exploring the possibility of using humanoid robots as instructional tools for teaching a second language in primary school," *Journal of Educational Technology & Society*, vol. 13, no. 2, 2010.
- [6] M. Alemi, A. Meghdari, and M. Ghazisaedy, "Employing humanoid robots for teaching english language in iranian junior high-schools," *International Journal of Humanoid Robotics*, vol. 11, no. 03, p. 1450022, 2014.
- [7] S. Lemaignan, A. Jacq, D. Hood, F. Garcia, A. Paiva, and P. Dillenbourg, "Learning by teaching a robot: The case of handwriting," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 1070, no. 9932/16, 2016.
- [8] R. Dillmann, "Teaching and learning of robot tasks via observation of human performance," *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 47, no. 2-3, pp. 109–116, 2004.
- [9] F. Tanaka and S. Matsuzoe, "Children teach a care-receiving robot to promote their learning: Field experiments in a classroom for vocabulary learning," *Journal of Human-Robot Interaction*, vol. 1, no. 1, pp. 78–95, 2012.
- [10] N. Dahlbäck, A. Jönsson, and L. Ahrenberg, "Wizard of oz studies—why and how," *Knowledge-based systems*, vol. 6, no. 4, pp. 258–266, 1993.

# ANALÝZA MAKROEKONOMICKÝCH DÁT KRAJÍN EÚ

<sup>1</sup>Anna BICEKOVÁ, <sup>2</sup>Juliana IVANČÁKOVÁ, <sup>3</sup>Lea PISARČÍKOVÁ

<sup>1,2,3</sup> Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, FEI, Technická univerzita v Košiciach,  
Letná 9, 042 00 Košice, Slovenská Republika

<sup>1</sup>anna.bicekova@tuke.sk, <sup>2</sup>juliana.ivancakova@tuke.sk,  
<sup>3</sup>lea.pisarcikova@student.tuke.sk

**Abstract** — Predkladaný článok sa zameriava na spracovanie makroekonomických dát, kde pomocou exploračnej analýzy a vhodných algoritmov dolovania v dátach sú vytvárané modely na predikciu nových hodnôt. Článok sa opiera o základné poznatky z makroekonómie, metodológiu CRISP-DM, prediktívne dolovanie v dátach a exploračnú analýzu. Na makroekonomické dátové vzorky, ktoré sú získané z ročnej makroekonomickej databázy Generálneho riaditeľstva Európskej komisie pre hospodárske a finančné záležitosti boli nasadené algoritmy regresie v programovacom jazyku R. Postupmi regresie sa vytvorili predikčné modely na historických dátach a pomocou nich sa predpovedali hodnoty pre rok 2019. Všetky výsledky sú vizualizované vo webovej aplikácii vytvorenej pomocou frameworku RShiny.

**Keywords** — analýza makroekonomických dát, CRISP-DM, dátová analytika, exploračná analýza dát, lineárna regresia, predikcia

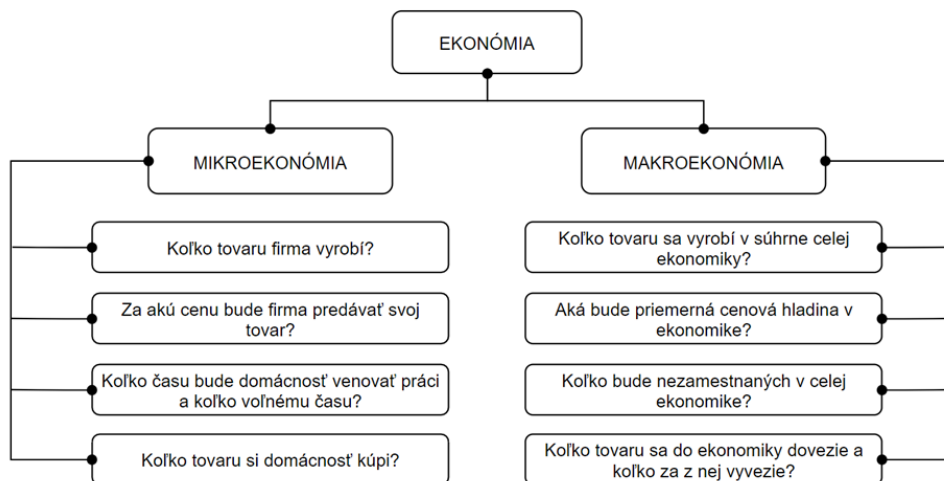
## I. ÚVOD

V súčasnosti sa čím ďalej tým viac dostáva do popredia analýza a dolovanie dát v rôznych sférach kde možno skúmať dáta, hľadať v nich vzory, predpovedať ich chovanie a podobne. V oblastiach ako je medicína, ekonómia, finančníctvo, marketing a iné sa pravidelne zaznamenávajú údaje a vznikajú veľké databázy. S týmito dátami tak možno pracovať a objavovať v nich nové znalosti, ktorými možno vyriešiť rôzne problémy. V rámci makroekonómie sa dolovanie v dátach využíva hlavne na predpovedanie alebo klasifikáciu makroekonomických ukazovateľov. Z prieskumu dostupných verejných analýz je možné zhodnotiť, že sa v oblasti ekonómie využíva najmä prediktívne dolovanie v dátach. Pozornosť sa zameriava najmä na predpovedanie vývoja a správanie makroekonomických ukazovateľov v budúcnosti, ktoré ovplyvňujú finančný trh a hospodársky vývoj krajín a organizácií. Na tieto predikcie nám slúžia historické dáta, z ktorých je možné vytvárať predikčné modely.

## II. EKONÓMIA

Za zakladateľa ekonomickej vedy sa považuje Adam Smith a jeho dielo Bohatstvo národov z roku 1776 (skrátene z názvu Pojednanie o podstate a pôvode bohatstva národov). Základným a významným mechanizmom je podľa autora neviditeľná ruka trhu, pomocou ktorého funguje trhové hospodárstvo [1]. Štruktúra ekonómie sa podľa [2][3] delí na mikroekonómiu a makroekonómiu. Tieto dve časti ekonómie navzájom kooperujú a tvoria neoddeliteľnú súčasť, ako aj jadro súčasnej ekonómie. Súčasná mikroekonómia sa zaoberá ekonomickými subjektmi – štátom (ak vystupuje ako podnikateľ), firmami a domácnosťami. Skúma ich správanie na rôznych druhoch trhov – práce, tovarov, služieb, kapitálu a iných, kde sleduje napríklad stanovenie cien tovarov alebo služieb, monopol a jeho účinky, ako aj ďalšie problémy spojené s využívaním vzácných ekonomických zdrojov. Makroekonómia - vychádza z diela Všeobecná teória zamestnanosti, úroku a peňazi od J. M. Keynesa z roku 1936. Súčasná makroekonómia sa zaoberá fungovaním väčších celkov, napríklad celkovej ekonomiky štátu. Skúma agregátne veličiny ako napríklad: inflácia, nezamestnanosť, výroba tovarov a služieb, menové kurzy atď. Rozdiel medzi týmito časťami je zobrazený na obrázku č. 1 a predstavuje niekoľko otázok, ktoré jednotlivé časti riešia. V našom príspevku sa zameriavame na oblasť a analýzu makroekonomických dát.





Obr. 1 Rozdiel medzi mikroekonomiou a makroekonomiou

### A. Makroekonómia

S klasickou ekonómiou, ktorej základy vychádzajú z prístupu Adama Smitha, Davida Ricarda a Johna Stuarta Milla sa spája vznik makroekonómie. „Klasická ekonómia sa sústredila najmä na analýzu rastu hmotného bohatstva spoločnosti a zdroje jeho rastu z hľadiska dlhého obdobia“ [2]. Moderná makroekonómia pochádza z vysvetľovania faktorov, ktoré ovplyvňujú základné makroekonomické hodnoty Johnom Maynardom Keynesom. Jeho najdôležitejší prínos má korene v teórii efektívneho dopytu. Táto teória zhodnocuje význam investícií ako faktor, ktorý je rozhodujúci pre ovplyvnenie ekonomickej aktivity a jej celkovej úrovne [2].

„Makroekonómia ako súčasť ekonomickej teórie analyzuje a charakterizuje fungovanie ekonomiky ako celku. Predmetom skúmania makroekonómie je celková úroveň produktu ekonomiky danej krajiny, tempo jeho rastu, vývoj zamestnanosti a nezamestnanosti, inflácie, problémy makroekonomickej stabilizačnej hospodárskej politiky a zahranično-ekonomicke vzťahy.“ [2]

Veličiny ako je hrubý domáci produkt, hrubý národný produkt, čistý domáci produkt, národný dôchodok a iné pomáhajú vysvetliť záležitosti spojené s ekonomickým rastom, vývojom ekonomiky a vzťahmi medzi úsporami, spotrebou a investíciami, ako aj otázky nezamestnanosti a inflácie. Národohospodárske agregátne veličiny sú veličiny, vďaka ktorým je možné merať a vyjadriť výkonnosť ekonomiky.

#### 1) Meranie ekonomickej výkonnosti

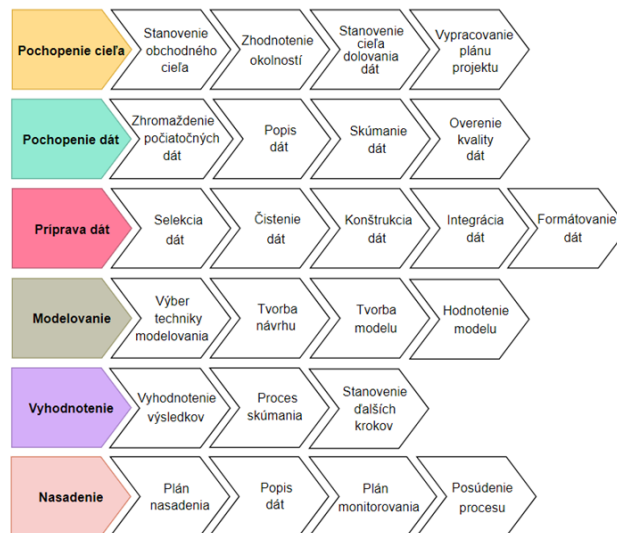
K najdôležitejším oblastiam, o ktoré sa makroekonómia opiera patrí produkcia, trh práce, ceny, ekonomicke vzťahy so zahraničím a hospodárska politika štátu. Hlavným cieľom hospodárskej politiky je, aby dosiahla rýchly ekonomický rast, stabilnú cenovú hladinu a nízku úroveň nezamestnanosti.

## III. OBJAVOVANIE ZNALOSTÍ V DATABÁZACH

KDD (Knowledge Discovery in Databases) [4][5] je proces extrahovania doposiaľ neznámych, platných a potenciálne užitočných znalostí z databáz, ktorý sa skladá z niekoľkých krokov a množstvom rozhodnutí vykonanými používateľmi. Základným problémom, ktorým sa KDD zaoberá je mapovanie nízkej úrovne údajov do foriem, ktoré majú byť abstraktné, kompaktné a užitočné. Ide o analýzu veľkého množstva údajov a získavanie informácií na rôzne účely. Na vykonávanie extrahovania znalostí sa používajú všeobecné postupy ako sú napríklad SEMMA, CRISP-DM a TDSP. V našom príspevku sme si zvolili metodológiu CRISP-DM práve preto, že sa najviac odporúča pri realizácii projektov dolovania dát, je úplnejšia a má všetku dostupnú dokumentáciu, podrobné fázy a úlohy.

### A. CRISP-DM

CRISP-DM (Cross Industry Standard Process for Data Mining) [8] je procesný model dolovania dát, ktorý vychádza z praktických skúseností a je zložený zo 6 fáz. Hlavným cieľom pri tvorbe modelu bolo vytvoriť jasný a ľahko pochopiteľný proces, ktorý popisuje pracovné fázy projektu na získavanie údajov a vyzdvihuje fakt, že dolovanie v dátach nie je len technická úloha, ale súvisí i s obchodnými procesmi a cieľmi.



Obr. 2 Fázy cyklu CRISP-DM

Cyklus dolovania údajov sa skladá z fáz znázornených na obrázku č. 2 aj s popisom jednotlivých krokov. Najdôležitejšia fáza je pochopenie problému, ktorá zaberá 20% času, ale má 80% význam. Časovo najnáročnejšie fáza je príprava dát, ktorá zaberá 80% času s 20% významom, pričom modelovanie a analýza skúmaných dát zaberie 5% času a má 5% význam.

### B. Exploračná analýza

Exploratory data analysis (EDA) je prvým krokom v procese analýzy dát. Je to akýkoľvek spôsob pozerania na dáta, ktorý neobsahuje formálne štatistické modelovanie a dedukcia spadá pod pojem exploračná analýza údajov. Hlavné dôvody na použitie EDA sú: odhalenie chýb, kontrola predpokladov, predbežný výber vhodných modelov, určenie vzťahov medzi vysvetľujúcimi premennými a posúdenie smeru a veľkosti vzťahov medzi vysvetľujúcimi a výslednými premennými. Cieľom je uvažovať o množine údajov a premýšľať o stanovených otázkach.

Pri exploračnej analýze podľa [9], prechádzame neformálnym kontrolným zoznamom úkonov, ktoré je potrebné uskutočniť. Medzi prvky zoznamu patria:

- sformulovanie otázky,
- načítanie dát,
- kontrola dátového súboru,
- kontrola dátových typov,
- zobrazenie prvých a posledných riadkov dát,
- kontrola orientačných bodov,
- overenie pomocou aspoň jedného externého zdroja dát,
- vyskúšanie jednoduchého riešenia,
- zmena riešenia,
- odpoveď na otázky.

## IV. PREHEAD EXISTUJÚCICH PRÁČ

Z prieskumu dostupných prác a štúdií sme zistili že analýzy, ktoré spájajú makroekonómiu a dolovanie v dátach využívajú najmä prediktívne dolovanie dát. Najviac predikcií je založených na neurónových sieťach. Keďže neexistuje veľa ekonomických analýz spojených s lineárnou regresiou, je to aj jeden z dôvodov, prečo sa v našom príspevku venuje práve tejto oblasti.

Li Li a Kai-Hsuan Chu spracovali analýzu dát a pomocou neurónovej siete predpovedali zmeny cien nehnuteľností na základe ekonomických parametrov. V tejto štúdiu sa použili modely dvoch nelineárnych neurónových sietí na predpovedanie zmeny v reálnom stave. Využili viacvrstvovú doprednú neurónovú sieť (BPF) kombinovanú s algoritmom spätného šírenia na vytvorenie modelu kolísania cien nehnuteľností súvisiaceho s makroekonomickými parametrami. Druhá (NN) bola navrhnutá pre dvojvrstvovú neurónovú sieť s lineárnymi váhami medzi nimi (použitím RBF – rádio bázeckej funkcie). RBFNN sa použila na modelovanie vzťahu tiež medzi makroekonomickými parametrami a indexmi Cathay House a Sinyi House. Ako makroekonomické ukazovatele použili HDP, peňažná zásoba M2, hrubý národný dôchodok, miera ekonomického rastu, signál prosperity, index tendencie cien nehnuteľností, pomer cena nehnuteľnosti/HND, index spotrebiteľských cien, úrokové sadzby, úvery na nákup nových domov a iné. Všetky modely sú založené na 11 makroekonomických parametroch na

základe dát zo 40 sezón, ktoré následne autori využili na predpovedanie 13 ďalších sezón. Výkonnosť modelov porovnávali so štandardnou odchýlkou chyby modelu (RMSE) a s priemerom absolútneho rozdielu (MAE) dvoch indexov. Pre cenový index Cathay House mala lepšiu predikčnú výkonnosť RBFNN. Naopak, pre kolísanie indexu Sinyi House mala lepšiu výkonnosť BPFNN. Na základe výsledkov analýzy zobrazených v tabuľke č. 1 zhodnotili, že predikcia zmeny cien stále nie je dostatočne presná [10].

Tabuľka 1 Porovnanie výsledkov predikčných modelov

| CENOVÝ INDEX<br>NEHNUTEĽNOSTÍ | MAKROEKONOMICKÉ<br>UKAZOVATELE | INDEX | BPFNN | RBFNN |
|-------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|
| Cathay house<br>index         | 11 parametrov                  | MAE   | 1,71% | 0,67% |
|                               |                                | RMSE  | 2,05% | 1,90% |
| Sinyi house index             | 11 parametrov                  | MAE   | 2,06% | 2,34% |
|                               |                                | RMSE  | 2,58% | 2,95% |

Na indonézskej univerzite v Bandungu [11] v roku 2018 spracovali predpovedanie indonézskeho ekonomického rastu pomocou makroekonomických ukazovateľov založených na umelej neurónovej sieti. V ekonómii existuje niekoľko metód predpovedania časových radov, vybrali si prognózu pomocou umelej neurónovej siete (ANN). Pri analýze boli použité historické údaje týchto makroekonomických ukazovateľov: ceny HDP, spotreba, investície, vládne výdavky, hrubý export a import ovplyvňujúci HDP. V tomto výskume pracovali s 25-ročnými historickými dátami na predpovedanie ďalších 3 rokov. Súbor dát rozdelili do dvoch častí na tréningovú a testovaciu množinu v pomere 70:30. Predtým, ako začali predpovedať ekonomický rast, spracovali tréningovú časť, aby dosiahli čo najlepšie výsledky. K získaniu spoľahlivého a presného modelu ďalej optimalizovali tréningové dáta. Na meranie presnosti prognózy nasadili pre každý experiment meranie chyby MAPE a pre chybu v tréningovom procese nasadili MSE, ktorá označuje priemernú chybu medzi výstupmi a požadovaným cieľom. Výsledky ukázali, že konfigurácia 5-11-1 má najvyššiu presnosť – 95,81% s najmenšou chybou 4,19%. Na základe toho predpovedali výsledok ekonomického rastu: Ekonomika Indonézie v nasledujúcich troch rokoch bude rásť. Konečný výsledok HDP v roku 2019 má byť 11 625 085, v roku 2020 12 264 574 a v roku 2021 12 939 229 vyjadrené v miliardách rupia.

C. Anghelache, A. Manole a M. G. Anchel [12] pomocou modelu viacnásobnej lineárnej regresie analyzovali vplyv konečnej spotreby a hrubých investícií na vývoj HDP v Rumunsku. Dátový súbor, ktorý použili je tvorený oficiálnymi údajmi získanými z rumunského štatistického orgánu a analýza bola vykonaná pomocou softvéru Eviews. V práci považovali sa výslednú premennú HDP a konečnú spotrebu spolu s hodnotou hrubých investícií z rokov 1990 – 2014 označili za variabilnú. S nástrojom Eviews 7.2 odhadli parametre modelu pomocou metódy najmenších štvorcov a následne otestovali platnosť modelu, stupeň spoľahlivosti a štatistickú významnosť parametrov. Z hľadiska štatistických testov, ktoré overujú správnosť daného ekonometrického modelu je zrejmé, že hodnoty testov R<sup>2</sup> a upravené R<sup>2</sup> sú vysoké. R<sup>2</sup> = 98,31% a upravené R<sup>2</sup> = 98,15%. Tieto vysoké čísla naznačujú aj silné prepojenie medzi jednotlivými premennými. Znamená to, že model je správny a s minimálnym rizikom. Pri použití štatistického F-testu je jeho hodnota väčšia ako tabuľková referencia, ktorá sa používa na testovanie platnosti ekonometrických modelov. Zo spomenutých výsledkov zhodnotili, že zvolený model je vhodný, na opisovanie vplyvu konečnej spotreby a hrubých investícií na rast HDP Rumunska.

## V. SPRACOVANIE A ANALÝZA MAKROEKONOMICKÝCH DÁT

V nasledujúcej časti príspevku sme sa venovali jednotlivým krokom exploračnej analýzy dát a následne metodológii CRISP-DM. Exploračnú analýzu sme využili na spracovanie a čistenie dát a v rámci metódy CRISP-DM sme predpovedali hodnoty a následne sme dosiahnuté výsledky nasadili do aplikácie.

### A. CRISP-DM makroekonomických dát

#### 1) Pochopenie cieľa

Cieľom práce je porovnávať jednotlivé makroekonomické ukazovatele pre krajiny Európskej únie. A pomocou modelov lineárnej a viacnásobnej regresie minimalizovať hodnotu RMSE a predikovať budúce hodnoty makroekonomických ukazovateľov.

#### 2) Pochopenie dát

Dátové súbory sú získané z AMECO databázy. Po exploračnej analýze dát, dátové súbory obsahujú 63 atribútov. V každom súbore sa nachádza stĺpec s krajinami EÚ, makroekonomickými ukazovateľmi a ich bližšou špecifikáciou, stĺpec s jednotkou, v ktorej sú hodnoty uvádzané a následne sú stĺpce s rokmi od 1960 do 2018, ktoré obsahujú jednotlivé hodnoty. Medzi makroekonomické ukazovatele jednotlivých dátových súborov patrili:

- populácia a zamestnanosť,
- spotreba,
- tvorba a šetrenie kapitálu, celková ekonomika a sektory,
- domáci produkt,
- hrubý domáci produkt (príjmový prístup), mzdové náklady
- a národné účty podľa odvetví činnosti.

### 3) Príprava dát

Dáta sme začali pripravovať už pri exploračnej analýze. V 4.kroku tejto analýzy sme upravili dátové typy numerických atribútov z factor, na numeric. V 6.kroku sme upravovali atribút *Country*, pretože neobsahoval len krajiny EÚ a v 9.kroku sme upravili hodnoty atribútu *unit*, ktoré obsahovali jednotky a meny, pomocou ktorých nemožno porovnávať hodnoty krajín medzi sebou.

V rámci čistenie dát sme ďalej odstránili atribúty *Code*, *X2019*, *X2020* a *X*. Stĺpec *Code* obsahoval kód krajiny, ktorý je pre nás zbytočný, keďže sme pracovali s názvami krajín. Ďalšími odstránenými stĺpcami boli *X2019*, *X2020* a *X*, ktoré neobsahovali ešte žiadne hodnoty. Každý súbor obsahoval nejaké chýbajúce hodnoty. Všetky chýbajúce hodnoty sme doplnili lineárnou interpoláciou v prostredí programu R.

### 4) Modelovanie a vyhodnotenie

Na modelovanie sme sa rozhodli použiť lineárnu regresiu – jednoduchú a viacnásobnú. Aby sme mohli vybrať najlepší model, vyhodnocovali sme ich štandardnou odchýlkou chyby modelu (RMSE). Čím je hodnota RMSE nižšie, tým je model lepší. Pri jednoduchej lineárnej regresii bolo možných veľa kombinácií na vytvorenie modelu a ich RMSE bola vždy veľmi vysoká. Aj pri viacnásobnej regresii je možné vytvoriť viacero modelov, avšak my sme sa rozhodli vytvárať modely podľa dekád. Boli postavené na predikovaní hodnôt pre rok 2017 a 2018, aby sme následne vedeli porovnať naše výsledky s reálnymi hodnotami.

Zo všetkých modelov medzi dátovými súborami bol najlepší model pre súbor spotreba so závislou premennou 2018 a ako nezávislé premenné boli použité roky 1960 – 2017. RMSE tohto modelu je 0,616 a je to najnižšie RMSE spomedzi všetkých vytvorených modelov. Pre porovnanie zobrazujeme predikovanie hodnôt pre rok 2019 v tom istom dátovom súbore, avšak pomocou modelu s vyhodnotením 20,616 so závislou premennou X2018 a nezávislými premennými 2000 - 2009. Pre lepšie pochopenie vyhodnotenia modelov nasledujúca tabuľka zobrazuje hodnoty z dátového súboru spotreba pre rok 2018 a predikované hodnoty podľa modelu so závislou premennou 2018.

Tabuľka 2 Porovnanie predikovaných hodnôt podľa modelov

|                     | PŮVODNÉ HODNOTY ROKU<br>2018 | PREDIKOVANÉ HODNOTY<br>ROKU 2018 |
|---------------------|------------------------------|----------------------------------|
| Model s RMSE 0,616  | 230,772800                   | 230,136739                       |
|                     | 34,247160                    | 34,274992                        |
| Model s RMSE 20,616 | 230,772800                   | 222,67006097                     |
|                     | 34,247160                    | 27,91815464                      |

### 5) Nasadenie

Posledným krokom metodológie CRISP-DM je nasadenie výsledkov. V našom prípade sme použili ako softvérové riešenie R Shiny aplikáciu, pomocou ktorej sme vytvorili dashboard obsahujúci naše riešenie. Keďže sme pracovali s medzinárodnými dátami, tak aplikácia je dvojjazyčná, čiže používateľ si môže vybrať medzi slovenským alebo anglickým jazykom. Dashboard sa skladá z bočného panelu, kde je 5 záložiek, medzi ktorými je možné sa preklikať hlavnou časťou. Prvou záložkou je *Description*, kde je krátky opis tejto aplikácie a následne opis dátového súboru. Tento súbor si používateľ môže vybrať zo šiestich sád, s ktorými sme pracovali. Okrem popisu tohto súboru sa zobrazí aj tabuľka s dátami daného súboru. Druhá záložka *Summary*, poskytuje štatistické informácie o vybranom dátovom súbore. Táto sumarizácia je aj graficky reprezentovaná grafom, ktorý voláme boxplot. Záložku *Correlation*, zobrazuje korelácie vybraných dátových súborov. Ďalšou zo záložiek aplikácie je *Comparison*, tá umožňuje zobrazit' rôzne grafy, ktoré v ktorých sa dajú vzájomne porovnávať údaje. Záložka *Prediction* má dve možnosti: *Simple Linear Regression* ako jednoduchá lineárna regresia a *Multiple Linear Regression* ako viacnásobná lineárna regresia. V tejto časti je možné si vybrať hodnoty, pomocou ktorých sa vytvorí model lineárnej regresie zobrazený na prislúchajúcom grafe. Pod výberom možností je aj zobrazená sumarizácia vytvoreného modelu a tiež aj jeho hodnota RMSE.

| COUNTRY | SUBCHAPTER | TITLE   | UNIT                                 | X2010  | X2011  | X2012  | X2013 | X2014  | X2015  | X2016  | X2017  | X2018  | X2019  |
|---------|------------|---|--------------------------------------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 73      | Belgium    | G1 Gross fixed capital formation, total economy and sectors | MRD at current prices: total economy | 2.6488 | 2.9775 | 3.2727 | 3.418 | 4.1396 | 4.5045 | 4.9615 | 5.3389 | 5.5461 | 6.1321 |

Obr. 3 Ukážka aplikácie

### ZÁVER

Tento článok bol zameraný na predspracovanie dát prostredníctvom postupov exploračnej analýzy dát. Vhodnou metódou dolovania v dátach sa hľadali modely na predpovedanie nových hodnôt. Cieľom bolo nasadiť tieto výsledky do interaktívnej a vizuálne atraktívnej webovej aplikácie. Všetky dosiahnuté výstupy boli spracované v programovacom jazyku R, v jeho vývojovom prostredí RStudio a na tvorbu aplikácie nám poslúžil framework RShiny spolu s potrebnými knižnicami. Postupy exploračnej analýzy dát boli aplikované na prvotné spracovanie dátových súborov a metodológia CRISP-DM nám pomohla pri objavovaní nových znalostí v dátach. Z dolovania v dátach bola použitá jednoduchá a viacnásobná lineárna regresia, v rámci ktorej boli vytvorené modely na základe ktorých sa predpovedali nové hodnoty. Aplikovaním lineárnej regresie na tieto súbory vznikol najlepší model pomocou viacnásobnej lineárnej regresie na dátovom súbore spotreba pre závislú premennú rok 2018 a nezávislé premenné roky 1960 – 2017. RMSE tohto modelu je 0,616. Keďže AMECO databáza sa pravidelne, aplikáciu možno pravidelne používať na predpovedanie makroekonomických ukazovateľov.

### POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore projektu FEI-2018-52 financovaného Fakultou elektrotechniky a informatiky, Technickej univerzity v Košiciach, Agentúry na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-16-0213 a Vedeckej grantovej agentúry MŠVVaŠ SR a SAV, projekt č. 1/0493/16.

### REFERENCIE

- [1] FUCHS, K. – LISÝ, J.: Dějiny ekonomického myšlení I. 1. vydanie. Brno: Masarykova univerzita, 2007. 112s. ISBN 978-80-210-4479-1
- [2] LISÝ J. a kol.: Ekonomía v novej ekonomike. 1. vydanie. Bratislava: IURA EDITION, spol. s.r.o., 2005. 624s. ISBN 80-8078-063-3
- [3] SAMUELSON, P. A. – NORDHAUS W. D.: Ekonomie. 18. vydanie. Praha: NS Svoboda, 2007. 800s. ISBN 978-80-205-0590-3
- [4] PARALIČ, J.: Objavovanie znalostí v databázach. 1.vyd. Košice: Elfä, 2003. 80s. ISBN 80-89066-60-7
- [5] FAYYAD, U. a kol.: Knowledge Discovery and Data Mining: Towards a Unifying Framework. In: KDD 1996: Proceedings of the second international conference on knowledge discovery and data mining, Portland. AAAI Press, 1996. s. 82-88. ISBN 978-1-57735-004-0
- [6] PROVOST, F. – FAWCETT, T.: Data Science for Business. 1. vyd. Sebastopol. O'Reilly, 2013. 408s. ISBN 978-1-449-36132-7
- [7] SHAFIQUE, U. – QAISER, H.: A Comparative Study of Data Mining Process Models (KDD, CRISP-DM and SEMMA). In: International Journal of Innovation and Scientific Research. Gujrat. ISSR Journals, 2014. s.217-222. ISSN 2351-8014
- [8] SMATANA, J.: Metodika CRISP-DM ako proces získavania znalostí z databáz. [online]. SmartVia, 2012. [dátum: 30.11.2018]. Dostupné na: <http://smartvia.sk/metodika-crisp-dm-ako-proces-ziskavania-znalosti-z-databaz/>
- [9] PENG, R. D.: Exploratory Data Analysis with R. Severná Karolína: Lulu, 2012. 208s. ISBN 978-1365060069
- [10] LI, L. – CHU, K. H.: Prediction of real estate price variation based on economic parameters. In: International Conference on Applied System Innovation. Sapporo. IEEE, 2017. s. 87-90. ISBN 978-1-5090-4897-7
- [11] ALMSYAH, A. – PERMANA, M. F.: Artificial Neural Network for Predicting Indonesian Economic Growth Using Macroeconomics Indicators. In: International Symposium on Advanced Intelligent Informatics. Yogyakarta. IEEE, 2018. ISBN 978-1-5386-5280-0
- [12] ANGHÉLACHE, C. a kol.: Analysis of final consumption and gross investment influence on GDP – multiple linear regression model. In: Theoretical and Applied Economics. roč. 22, 2015. č. 3. Bukurešť. GAER, 2015. ISSN 1841-8678

# Sémantický stroj transparentnej intenzionálnej logiky

<sup>1</sup>Branislav BEDNÁR, <sup>2</sup>Zuzana BILANOVÁ

<sup>1</sup>Študent na Katedre počítačov a informatiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita Košice, Slovenská republika

<sup>2</sup>Katedra počítačov a informatiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita Košice, Slovenská republika

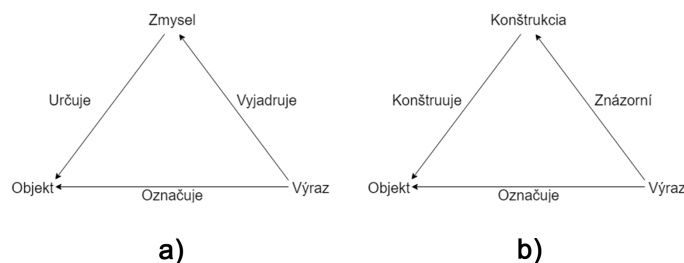
<sup>1</sup>brano.bednar9@gmail.com, <sup>2</sup>zuzana.bilanova@tuke.sk

**Abstract** – Cieľom tohoto článku je vytvorenie sémantického stroja transparentnej intenzionálnej logiky. Transparentná intenzionálna logika vzhľadom na logiky a prístupy, ktoré jej predchádzali, predstavuje nový pohľad na analýzu viet prirodzeného jazyka. Na Masarykovej univerzite vznikla doposiaľ jediná implementácia tejto logiky so zameraním na Český jazyk. Cieľom je vytvorenie prvého sémantického stroja pre analýzu anglického jazyka pomocou transparentnej intenzionálnej logiky.

**Keywords** – logická analýza prirodzeného jazyka, programovanie, sémantická analýza

## I. TRANSPARENTNÁ INTEZNIONÁLNA LOGIKA

Za vytvorením transparentnej intenzionálnej logiky môžeme hľadať českého logika Pavla Tichého, ktorý základy svojho celoživotného diela vytvoril už v roku 1961[1]. Tichý vytvoril vlastnú modifikáciu Fregeho vzťahu výraz-zmysel, ktorú môžeme vidieť na obrázku 1, kde obrázok a) predstavuje Fregeho interpretáciu sémantického trojuholníka a obrázok b) predstavuje Tichého interpretáciu sémantického trojuholníka.



Obr. 1 Tichého modifikácia Fregeho vzťahu výraz-význam.[2]

Problémom pri predošlých logických analýzach bolo, že výrazy prirodzeného jazyka boli prekladané do logického jazyka. To znamená, že význam vety bol vyjadrený v logickom jazyku, ktorý bolo potrebné dodatočne interpretovať. V Tichého logike sú výrazy prirodzeného jazyka analyzované, bez nutnosti použitia ďalšieho logického jazyka. Ten by pri preklade mohol spôsobovať odlišnosti a paradoxy. Obrázok 1 nám hovorí o tom, že vo Fregeho prístupe výraz vyjadruje zmysel, ktorý určuje objekt, ktorý daný výraz označuje. Tichý však predstavil myšlienku, že význam výrazu je znázornený jeho konštrukciou.

Tichý vo svojej práci definoval štyri základné typy  $\{o, \iota, \tau, \omega\}$  [2]. Z nich je pomocou funkčného typu možné každej lexikálnej jednotke prirodzeného jazyka priradiť zodpovedajúci intenzionálny resp. extenzionálny typ. V logike sú taktiež definované abstraktné procedúry nazývané konštrukcie, ktorými je následne reprezentovaný význam viet prirodzeného jazyka. Ide o nasledujúce druhy konštrukcií: premenná  $x$ , trivializácia  $\sim 0A$ , kompozícia  $[AA]$ , uzáver  $\lambda xA$ .



## II. SYNTAKTICKÉ ANALYZÁTORY

Pre implementovanie sémantického stroja sa vyžaduje vykonanie analýzy na dvoch základných úrovniach jazyka, syntaktickej a sémantickej úrovni. Taktiež je potrebné stanovenie pravidiel vyplývajúcich zo syntaktickej analýzy, na základe ktorých je možné následné vytvorenie výstupu sémantickej analýzy.

Pri implementácii nášho riešenia bolo vhodné použiť už existujúci syntakticky analyzátor. Na základe článkov, návodov a odporúčaní k danej problematike, boli analyzované dva najčastejšie spomínané analyzátory, ktorými boli Stanford CoreNLP a Link Grammar Parser.

### A. Link Grammar Parser

Link Grammar Parser predstavuje syntaktický analyzátor anglického jazyka. Bol napísaný v jazyku C a je kompletne voľne dostupný. Veľkosť slovního aparátu analyzátora predstavuje približne 60 000 slov v rôznych formách [3].

Hlavnú nevýhodu analyzátora predstavuje to, že výstup analýzy je vo forme textu, ako je možné vidieť na obrázku 2, čo sťažuje následné použitie výsledku syntaktickej analýzy.

```
Found 1 linkage (1 with no P.P. violations)
Unique linkage. cost vector = (UNUSED=0 DIS=0 AND=0 LEN=5)

+-----Xp-----+
|                   |
|                   +---Qst---+
+---Wd---+---Ss---+ +---Ds---+
|                   |         |
LEFT-WALL Peter is.v a student.n .

Constituent tree:

(S (NP Peter)
  (VP is
    (NP a student))
  .)
```

Obr. 2 Analýza vety „Peter is a student.” pomocou Link Grammar Parsera

### B. Stanford coreNLP

Stanford CoreNLP predstavuje robustnejší a sofistikovanejší syntaktycký analyzátor, ktorý je taktiež voľne dostupný. Podporovanými jazykmi sú okrem angličtiny aj jazyky ako arabčina, čínština, francúzština, nemčina a španielčina. Analyzátor bol napísaný v Jave, no veľkú výhodu predstavujú rozhrania, ktoré ponúka. Vďaka nim je možná práca s analyzátorom v jazykoch ako napríklad C#, JavaScript, Python, Scala, taktiež je kompatibilný s Dockerom. Analyzátor dokáže na vstupe prečítať vetu, no taktiež blok textu, kedy je každá veta analyzovaná samostatne a používateľ dostane na výstupe kolekciu analyzovaných viet [4].

```
{tokens:
  [{"after":',',
    'before':',',
    'characterOffsetBegin': 0,
    'characterOffsetEnd': 5,
    'index': 1,
    'lemma': 'Peter',
    'originalText': 'Peter',
    'pos': 'NNP',
    'word': 'Peter'},
  [{"basicDependencies": [{"dep": 'ROOT',
    'dependent': 4,
    'dependentGloss': 'student',
    'governor': 0,
    'governorGloss': 'ROOT'}],
    [{"enhancedDependencies": [{"dep": 'ROOT',
    'dependent': 4,
    'dependentGloss': 'student',
    'governor': 0,
    'governorGloss': 'ROOT'}],
    [{"dep": 'nsubj',
    'dependent': 1,
    'dependentGloss': 'Peter',
    'governor': 4,
    'governorGloss': 'student'}],
    [{"dep": 'cop',
    'dependent': 2,
    'dependentGloss': 'is',
    'governor': 4,
    'governorGloss': 'student'}],
    [{"dep": 'det',
    'dependent': 3,
    'dependentGloss': 'a',
    'governor': 4,
    'governorGloss': 'student'}]}],
  [{"after":',',
    'before':',',
    'characterOffsetBegin': 6,
    'characterOffsetEnd': 8,
    'index': 2,
    'lemma': 'be',
    'originalText': 'is',
    'pos': 'VBZ',
    'word': 'is'},
  [{"basicDependencies": [{"dep": 'ROOT',
    'dependent': 4,
    'dependentGloss': 'student',
    'governor': 0,
    'governorGloss': 'ROOT'}],
    [{"enhancedDependencies": [{"dep": 'ROOT',
    'dependent': 4,
    'dependentGloss': 'student',
    'governor': 0,
    'governorGloss': 'ROOT'}],
    [{"dep": 'nsubj',
    'dependent': 1,
    'dependentGloss': 'Peter',
    'governor': 4,
    'governorGloss': 'student'}],
    [{"dep": 'cop',
    'dependent': 2,
    'dependentGloss': 'is',
    'governor': 4,
    'governorGloss': 'student'}],
    [{"dep": 'det',
    'dependent': 3,
    'dependentGloss': 'a',
    'governor': 4,
    'governorGloss': 'student'}]}],
  [{"after":',',
    'before':',',
    'characterOffsetBegin': 9,
    'characterOffsetEnd': 10,
    'index': 3,
    'lemma': 'a',
    'originalText': 'a',
    'pos': 'DT',
    'word': 'a'},
  [{"basicDependencies": [{"dep": 'ROOT',
    'dependent': 4,
    'dependentGloss': 'student',
    'governor': 0,
    'governorGloss': 'ROOT'}],
    [{"enhancedDependencies": [{"dep": 'ROOT',
    'dependent': 4,
    'dependentGloss': 'student',
    'governor': 0,
    'governorGloss': 'ROOT'}],
    [{"dep": 'nsubj',
    'dependent': 1,
    'dependentGloss': 'Peter',
    'governor': 4,
    'governorGloss': 'student'}],
    [{"dep": 'cop',
    'dependent': 2,
    'dependentGloss': 'is',
    'governor': 4,
    'governorGloss': 'student'}],
    [{"dep": 'det',
    'dependent': 3,
    'dependentGloss': 'a',
    'governor': 4,
    'governorGloss': 'student'}]}],
  [{"after":',',
    'before':',',
    'characterOffsetBegin': 11,
    'characterOffsetEnd': 18,
    'index': 4,
    'lemma': 'student',
    'originalText': 'student',
    'pos': 'NN',
    'word': 'student'}]
}]
```

Obr. 3 Analýza vety „Peter is a student” pomocou Stanford CoreNLP



|                                 | Link Grammar parser | Stanford CoreNLP |
|---------------------------------|---------------------|------------------|
| API                             | -                   | +                |
| viacjazyčný                     | -                   | +                |
| voľne dostupný                  | +                   | +                |
| modifikovateľný                 | +                   | +                |
| vizualizácia výstupu            | -                   | +                |
| posledná vydaná verzia          | 2005                | 2018             |
| konfigurácia analyzátoru        | -                   | +                |
| analyzovanie bloku textu        | -                   | +                |
| konfigurácia výstupného formátu | -                   | +                |

Tabuľka 1  
Porovnanie Link Grammar parser a Stanford CoreNLP

Ako je možné vidieť na obrázku 3 Stanford CoreNLP, na výstupe svojej analýzy ponúka oveľa viac možnosti na ďalšie spracovanie dát ako Link Grammar analyzátor.

Vzhľadom na výhody znázornené v tabuľke 1 bolo rozhodnuté, že pre naše riešenie je vhodnejšie použitie Stanford CoreNLP analyzátoru na vykonanie syntaktickej analýzy.

#### Definície závislostí:

Kvôli rozhodnutiu použiť syntaktický analyzátor tretej strany je potrebné porozumieť analyzovaným dátam, ktoré sú na jeho výstupe ponúkané. Pre potreby implementácie riešenia je postačujúce sústrediť sa na prvú časť výstupu - základné závislosti a na poslednú časť, v ktorej sú popisované dané slová. Medzi jednotlivými slovami vo vete sa môžu nachádzať rôzne druhy závislostí. Niektoré vybrané základné druhy závislostí používané pre implementáciu sémantického stroja [5]:

- *nsubj* - predstavuje vzťah medzi podmetom a prísudkom. Analogicky ako v slovenčine, prísudok nemusí byť stále slovesný, môže byť aj menný. Napríklad vo vete „*Bob is tall.*“ vzťah *nsubj* bude medzi slovami *Bob* a *tall*.
- *cop* - ak sa vo vete nachádza menný prísudok, *cop* predstavuje vzťah medzi jeho slovesnou a mennou časťou. Z predchádzajúceho príkladu vzťah *cop* je možné nájsť medzi slovami *is* a *tall*.
- *neg* - predstavuje negáciu. Vo vete „*Bob is not tall.*“ sa tento vzťah nachádza medzi slovami *not* a *tall*. Vzťahuje sa aj na skrátenú formu záporu.
- *dobj* - predstavuje vo vete vzťah medzi prísudkom a predmetom. Vo vete „*Bob eats chicken.*“ sa tento vzťah nachádza medzi slovami *eats* a *chicken*.
- *aux* - predstavuje vo vete vzťah medzi plnovýznamovým a neplnovýznamovým slovesom. Vo vete „*Bob has been studied.*“ sa tento vzťah nachádza medzi slovami *has* a *studied*.
- *advmod* - predstavuje vzťah medzi príslovkou a slovom, kedy príslovka toto slovo rozširuje, modifikuje. Vo vete „*She grows up fastly.*“ sa tento vzťah nachádza medzi slovesom *grows* a príslovkou *fastly*.
- *amod* - predstavuje vzťah medzi prídavným menom a slovom, s ktorým dané prídavné meno súvisí. Vo vete „*Bob is not fast player.*“ sa tento vzťah nachádza medzi slovami *fast* a *player*.
- *det* - predstavuje vzťah medzi podmetom a determinantom - členom. Vo vete „*The man is crazy.*“ sa tento vzťah nachádza medzi slovami *the* a *man*.
- *conj* - predstavuje vo vete vzťah medzi dvoma rovnocennými slovami. Vo vete „*Bob is nice and funny.*“ sa tento vzťah nachádza medzi slovami *nice* a *funny*.
- *poss* - predstavuje vzťah ktorý vyjadruje prívlastnenie respektíve priradenie a nachádza sa medzi podstatným menom a doplnkom, na ktorý je možné sa opýtať genitívom. Takýto vzťah sa nachádza napríklad vo vete *Peter's wife*.
- *nsubjpass* - predstavuje taktiež vzťah medzi podmetom a prísudkom ako *nsubj*, no v tomto prípade je rozdiel v tom, že prísudok - sloveso je v trpnom rode.
- *nmod* - predstavuje vzťah medzi dvoma podstatnými menami. Napríklad, ako je možné vidieť na obrázku 10 vo vete „*Temperature in Košice.*“ sa tento vzťah nachádza medzi slovami *temperature* a *Košice*.

### III. SÉMANTICKÝ STROJ TRANSPARENTNEJ INTENZIONÁLNEJ LOGIKY

Sémantická analýza predstavuje druhý krok pri spracovaní prirodzeného jazyka. Jej cieľom je analyzovanie významu jednotlivých slov a viet. V prípade použitia transparentnej intenzionálnej logiky výstup sémantickej analýzy predstavuje veta vo forme konštrukcie transparentnej intenzionálnej logiky. Konštrukcia je vhodná na ďalšie spracovanie alebo použitie.

Pre transparentnú intenzionálnu logiku existuje zatiaľ jediná implementácia. Normálny translačný algoritmus [2] vytvorený ako dizertačná práca Aleša Horáka na Masarykovej univerzite v Brne je

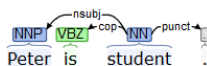
sémantickým strojom pre transparentnú intenzionálnu logiku. Tento sémantický stroj predstavuje riešenie pre český jazyk a pokrýva väčšinu slovnej zásoby daného jazyka. Základom algoritmu je práca s rôznymi variantami slovných druhov.

Po zanalyzovaní existujúceho prístupu bolo možné začať s implementáciou sémantického stroja. Ten vykonáva dve základné funkcie, ktoré sú potrebné pre jeho správnu funkcionálnu.

#### A. Typová kontrola

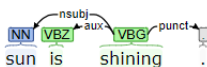
Pre porozumenie významu (či už dlhšieho textu alebo vety), bolo potrebné definovať pravidlá, ktorými sa získavanie významu riadilo. Samozrejme nebolo korektné definovať pravidlá pre bloky textu alebo vety. Bolo potrebné si tieto reťazce rozdeliť na menšie jednotky - slová, prípadne slovné spojenia pre čo najväčšiu presnosť určenia významu. Jednotlivým slovám alebo slovným spojeniam boli priradené typy, na základe ktorých bola nakoniec sformovaná výsledná sémantická konštrukcia vety. Analyzované typy vychádzajú zo všeobecne známych atomických typov  $\iota$ ,  $o$ ,  $\omega$ ,  $\tau$ .

Indivídium - predstavuje jeden zo základných typov, ktoré Tichý definoval. Na základe analýzy je známe, že indivídium predstavuje vždy konkrétnu entitu danej triedy, takže vždy bude začínať veľkým písmenom. Vzhľadom na syntaktickú analýzu bolo pri hľadaní indivídua dôležité sústrediť sa na vlastnosť slovný druh. Indivídium vždy na výstupe Stanford CoreNLP predstavuje slovný druh vlastné meno singulár.



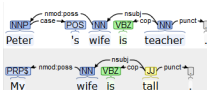
Obr. 4 Priradenie typu indivídium.

Pravdivostná hodnota - predstavuje taktiež jeden zo základných typov v rámci transparentnej intenzionálnej logiky. Vo vete „Sun is shining.” predstavuje pravdivostnú hodnotu slovo *shining*, keďže hovorí o stave slnka v danom svete a čase. Vzhľadom na výstup syntaktickej analýzy na obrázku 5 boli pravdivostné hodnoty získané ako nezávislá zložka zo závislosti *nsubj*.



Obr. 5 Priradenie typu pravdivostná hodnota.

Atribút - ide o rozšírený typ, ktorý bol získaný následovne: bola nájdená závislosť *case*, ktorej závislú zložku predstavuje nejaké indivídium a nezávislú zložku predstavuje indikátor prívlastnenia 's. Následne je hľadaná závislosť *nmod:poss*, ktorej závislú zložku predstavuje to isté indivídium ako v prípade závislosti *case* a nezávislú zložku predstavuje atribút, ktorý je vlastný indivídium. Výskyt tohoto typu je možný aj vo vete, v ktorej sa nenachádza žiadne indivídium. V takom prípade, je hľadaná rovno vlastnosť *nmod:poss*.

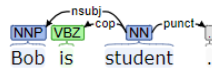


Obr. 6 Priradenie typu atribút.

Vlastnosť objektu - predstavuje zložený typ. Hovorí o tom, že nejakému objektu napríklad indivídium je priradená určitá vlastnosť v danom čase a svete. Na nájdenie vlastnosti objektu bolo potrebné nájsť závislosť *nsubj* takú, že jej závislú zložku predstavuje indivídium a nezávislú zložku predstavuje pravdivostnú hodnotu. Ako príklad je možné použiť vetu „Bob is student.”, kde indivídium *Bob* bola priradená vlastnosť, ktorá hovorí o tom, že je *student*. V prípade, ak sa našiel typ vlastnosť vlastností, ako je možné vidieť na obrázku 8 vtedy spojenie *lazy student* predstavuje samostatnú vlastnosť.

Vlastnosť vlastností - ak veta obsahuje indivídium a taktiež vlastnosť, ktorá mu je priradená, môže sa vo vete vyskytnúť aj typ vlastnosť vlastností. Na nájdenie tohoto typu bolo potrebné nájsť vlastnosť *amod*, kde závislú zložku predstavuje vlastnosť vlastností a nezávislú zložku predstavuje vlastnosť, ktorá je priradená objektu.

Binárny vzťah - ďalší rozšírený typ, ktorý hovorí o vzťahu medzi dvoma indivídiami. Predpokladom pre správne nájdenie tohoto typu bolo nájdenie závislosti *nsubj* alebo *nsubjpass*, kde

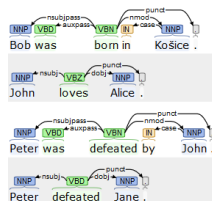


Obr. 7 Priradenie typu vlastnosť objektu.



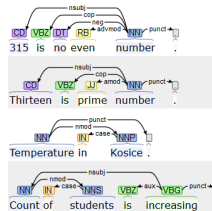
Obr. 8 Priradenie typu vlastnosť vlastností.

závislú časť závislosti predstavuje individuum a nezávislú časť predstavuje vzťah. Následne je potrebné nájsť závislosť *dobj*, kde závislú časť závislosti predstavuje druhé individuum, ak nezávislá časť predstavuje vzťah. Pre zaručenie vyššej presnosti pri určovaní tohoto typu bola definovaná množina možných vzťahov (*love, hate, like, loves, hates, likes*).



Obr. 9 Priradenie typu binárny vzťah.

Hodnota - patrí taktiež medzi dôležité typy, keď že sa často stretávame s vetami, ktoré hodnotu obsahujú priamo - formou číslovky alebo slovom, ktorého význam tiež predstavuje hodnotu. Vzhľadom na obrázok 10, konkrétne na prvej a druhej vete je viditeľné, že hodnotu bolo možné odhaliť overením jej slovného druhu čo znamená, že ak je to základná číslovka vieme, že je to hodnota. Druhým spôsobom je, že hodnota mohla byť vyjadrená jedným z vopred definovaných možných slov *weigh, height, length, temperature, depth, width, distance, speed*, a taktiež mohla byť reprezentovaná aj neurčito, ako napríklad vo štvrtjej vete na obrázku 10.



Obr. 10 Priradenie typu hodnota.

Vlastnosť hodnoty - týka sa všetkých druhov hodnôt. Keď že predpokladom nájdania vlastnosti hodnôt bolo aby hodnota už existovala, je potrebné pomôcť si hodnotou, ktorá už vo vete bola nájdená. Následne je potrebné nájsť vlastnosť *nsubj*, kde jej závislú zložku predstavuje nami nájdená hodnota. Znamená to, že nezávislá zložka predstavuje vlastnosť hodnoty, ako je viditeľné na obrázku 10. Tak ako pri vlastnosti individua je dôležité nezabudnúť na zohľadnenie negácie, ak by tam bola.

### B. Tvorba konštrukcií

Po implementovaní typovej analýzy na základe pravidiel, bolo potrebné navrhnuť a implementovať vytváranie konštrukcií pre vety prirodzeného jazyka. V prípade, že človek vykonáva analýzu vety prirodzeného jazyka ručne na papier, po vykonaní typovej analýzy začína automaticky písať konštrukciu vety. Pre sémantický stroj však bolo nevyhnutné určiť vychádzajúci bod-slovo, od ktorého sa začne konštrukcia vytvárať. Určenie vychádzajúceho bodu pre tvorbu konštrukcie bolo najnáročnejšou fázou implementácie. Rôzne pokusy o vyriešenie tohoto problému, ktoré sa zdali byť použiteľné, narazili nakoniec vždy na rovnakú prekážku. Nevytvárali všeobecné riešenie, ale boli naštité na konkrétne vety a s pribúdajúcim počtom viet sa riešenie stávalo takmer absolútne

konkrétnym. Problém bol nakoniec vyriešený syntaktickým analyzátorom, ktorý sa znova prejavil ako správne zvolený variant pre našu implementáciu.

Ako je možné vidieť na obrázku 3 v json objekte, ktorý je vrátený z CoreNLP, sa nachádza závislosť *ROOT*. Najdôležitejší aspekt predstavovalo to, že *ROOT* závislosť sa vyskytovala v každej vete, takže vždy je možné začať konštrukciu vytvárať práve na základe tohoto slova.

Po vykonaní typovej analýzy bol vytvorený zoznam všetkých nájdených typov pre jednoduchšie vyhľadávanie v nasledujúcich krokoch. Prehľadávanie typov, ktoré boli priradené pri typovej analýze je potrebné pre zistenie, aký typ bol priradený slovu, ktoré je koreňom vety.

Vzhľadom na typ koreňa je vykonávané ďalšie spracovanie vety, kde sa zisťuje, ktoré ďalšie typy súvisia s koreňom vety. Ak je analyzovaná veta „*Peter is student.*“, koreňom je slovo *student*, ktoré je typu vlastnosť. Zistenie súvisiacich typov je potrebné, pretože ak sovo *student* súvisí s individuum, pre výslednú konštrukciu je potrebné toto slovo intenzionalizovať.

$$\lambda w \lambda t [[ [ \text{ } ^0 \textit{student} w ] t ] \text{ } ^0 \textit{Peter} ]$$

Po zistení súvisiacich typov je pre dané slovo vytvorený objekt. Pri vytváraní objektu sú zadávané parametre, ktoré hovoria aj o tom, či je potrebná intenzionalizácia objektu. Ďalším dôvodom vytvárania objektu pre každé slovo je jednoduchšie vytváranie celkovej konštrukcie, ale aj konštrukcie samotného slova. Pri analýze bolo zistené, že existujú prípady, kedy viaceré lexikálne jednotky vety môžu predstavovať jeden typ. Napríklad vo vete „*Count of cars in Kosice is decreasing.*“ slová *count*, *of* a *cars* sú syntaktickým analyzátorom analyzované ako samostatné slová, no vyjadrujú typ hodnota, takže pre finálnu konštrukciu je potrebné ich spojiť napríklad do reťazca *count\_of\_cars*, čo je zabezpečené v rámci daného objektu.

$$\lambda w \lambda t [[ [ \text{ } ^0 \textit{increasing} w ] t ] \text{ } ^0 \textit{Temperature\_in\_Kosice} ]$$

Ďalší dôležitý krok predstavuje identifikovanie konjunkcií, ak ich veta obsahuje. Napríklad pre vetu „*Peter's wife is great teacher and awesome mother.*“ je nájdený koreň *teacher*. Po zistení typu a nájdení súvisiacich typov určíme, či koreň neobsahuje konjunkciu pomocou nájdenia závislosti conj. Ak je nájdená konjunkcia, uloží sa do premennej *root* a celý postup sa vykoná znova pre nový koreň. Tým je zabezpečené to, že sa nezabudne na vlastnosť vlastností - *great*.

$$\lambda w \lambda t [ [ [ [ [ \text{ } ^0 \textit{teacher} w ] t ] [ [ \text{ } ^0 \textit{great} w ] t ] ] ] \lambda w \lambda t [ \text{ } ^0 \textit{Peter} [ [ \text{ } ^0 \textit{wife} w ] t ] ] ] \wedge [ [ [ [ \text{ } ^0 \textit{mother} w ] t ] [ [ \text{ } ^0 \textit{awesome} w ] t ] ] ] \lambda w \lambda t [ \text{ } ^0 \textit{Peter} [ [ \text{ } ^0 \textit{wife} w ] t ] ] ] ] ]$$

Poslednou možnosťou, ktorá je pri vetách identifikovaná, je negácia. Vety obsahujúce negáciu sa vyskytujú v každodennej komunikácii, preto bolo dôležité aby aj tieto vety bolo možné sémantickým strojom konštruovať. Pre vetu „*Matthew was not born in Kosice.*“ je sémantickým strojom vytvorená nasledovná konštrukcia.

$$\lambda w \lambda t [ - [ [ \text{ } ^0 \textit{born} w ] t ] \text{ } ^0 \textit{Matthew} \text{ } ^0 \textit{Kosice} ] ]$$

Prechádzajúce konštrukcie predstavujú niektoré z možných výstupov sémantického stroja.

#### IV. ZÁVER

Možné rozšírenie predstavuje vytvorenie syntaktického analyzátoru, ktorým by sa nahradil Stanford CoreNLP, prípadne aplikácia typovej kontroly, ktorou by sa overovala správnosť výstupu. Bol však vytvorený funkčný prototyp sémantického stroja pre danú logiku na užšom korpuse prirodzeného jazyka. Taktiež boli vyslovené možné vylepšenia do budúcnosti, čo z neho môže spraviť ešte komplexnejší a lepší systém.

#### PODĀKOVANIE

Táto práca bola podporená nasledujúcim projektom: Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice under the contract No. FEI-2018-59: Semantic Machine of Source- Oriented Transparent Intensional Logic.

#### LITERATÚRA

- [1] J. Peregrin, “Pavel Tichý: O čem mluvíme?” <http://www.jarda.peregrin.cz/mybibl/HTMLTx/465.htm>, accessed: 9.12.2018.
- [2] A. Horák, “The normal translation algorithm in transparent intensional logic for czech,” Ph.D. dissertation, Faculty of Informatics, Masaryk University, Brno, 11 2001.
- [3] D. Sleator, “Link grammar;” <https://www.link.cs.cmu.edu/link/>, Accessed: 8.5.2019.
- [4] C. D. Manning, M. Surdeanu, J. Bauer, J. Finkel, S. J. Bethard, and D. McClosky, “The Stanford CoreNLP natural language processing toolkit,” in *Association for Computational Linguistics (ACL) System Demonstrations*, 2014, pp. 55–60. [Online]. Available: <http://www.aclweb.org/anthology/P/P14/P14-5010>
- [5] M.-C. de Marneffe and C. D. Manning. (2008, Sep.) Stanford typed dependencies manual. [Online]. Available: [http://nlp.stanford.edu/software/dependencies\\_manual.pdf](http://nlp.stanford.edu/software/dependencies_manual.pdf)

# Monitoring system of power plants

<sup>1</sup>Erik Dvorčák, <sup>2</sup>Aleš DEÁK, <sup>3</sup>František JAKAB

<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>erik.dvorcak@student.tuke.sk, <sup>2</sup>ales.deak@tuke.sk, <sup>3</sup>frantisek.jakab@tuke.sk

**Abstract** — The main theme of this issue of monitoring photovoltaic power powerplants communicating by using various communication protocols. The goal of the article is to design and create a complex monitoring system of power plants, which will be freely expandable. Also, with the help of two communication modules created for protocols Modbus and Aurora to present functionality and complexity of the system. The result is a monitoring system containing a database, user interference and communication modules of two industrial protocols. Monitoring of devices communicating by various communication protocols in one system, retention of data for statistics creation and error diagnosis are possible by using a complex monitoring system.

**Keywords** — monitoring system, photovoltaic power plants

## I. INTRODUCTION

The goal is to create a comprehensive and arbitrary expandable monitoring system that will communicate with power plants, efficiently write and process data from individual power plants, and also make the collected data easier to present, or creating devices diagnostics. The monitoring system consists of three parts. Communication program, user interface and database.

## II. DESCRIPTION FUNCTIONALITY OF MONITORING SYSTEM COMPONENTS

### A. Communication program

The communication program, written in C ++, uses communication protocol modules to collect data from devices located at power plants. This data is written to the database and the user interface is notified of the new entry. Communication modules use the Aurora and Modbus protocol libraries.

A free library was used for Modbus, which was customized as needed. The Aurora protocol did not have any library that could be used, so the library was created according to the protocol documentation.

Communication modules, in addition to data collection and writing, are also tasked with diagnosing unexpected device errors and writing them to a database. It then changes the device status in the database. They also diagnose communication problems with equipment and power plants.

Power plants and devices that are written in the system have a status attribute. The actual status of the device or power plant is taken into account in each cycle of the program. All possible states are predefined in the database. The communication program is run using the cron software tool.

### B. User interface

The client-server architecture was chosen for the user interface. The user interface is presented using a web application. The Angular framework was used to develop the client's side. The server side was developed using the JavaScript engine Node.js. The user interface works in the form of real-time. The data is delivered to the client after each notification, after new data is written, communication program.

The user interface allows system administrators to add users, thereby limiting access to the monitoring system for specific individuals. The added user is notified by email to the email address provided during registration. The email contains the username and password selected by the administrator in registration of new user into the system. After logging in, the user can browse power plants data, manage power plants, users, and more. The user's rights to individual actions are determined by his role.

### C. Database

The monitoring system uses a table-type database, specifically the MariaDB distribution. The database is used to store data on power plants and equipment. It also stores fixed lists of possible states and user roles. It communicates with the back-end and communication program. The communication program writing data to the database or modifies the states of the power plant or devices. The back-end reads this data after it is notified by the communication program. Users and information about them are stored in the same database as the data of monitoring system.

## III. SCHEMATIC DESCRIPTIONS OF COMPONENTS

### A. Simple algorithms of communication program

The Figure 1 Algorithm of main.cpp below outlines the communication program algorithm describing the input files of program and the principle of functionality.



Figure 1 Algorithm of main.cpp

The communication program loads the user configuration from the config.cfg file. According to the configuration file, it connects to the database and selects power plants that do not have the current "offline" or "on repair" status. Subsequently, in the switch, it selects a communication module for a given power plant based on the PROTOCOL\_ID read from the database.

The communication module attempts to connect to the power plant using an IP address from the database. After successful connection, it collects predefined groups of data and writes these data to the database. In the event that cannot connect to the power plant, it changes the state of the power plant to the status of "communication error" the same is done after unsuccessful reading data from the device. If it is possible to connect to the device, but it declares an error, the system will diagnose the error and write it to the database, then change the device status so that the communication program does not try to read the data in the next cycle.

After writing the data, the communication program sends a "tick" to the back-end, notifying the user interface of the new data that is immediately rendered in the user interface.

### B. Screen sequence diagram of user interface

The screen sequence diagram shows the options for browsing the user interface.

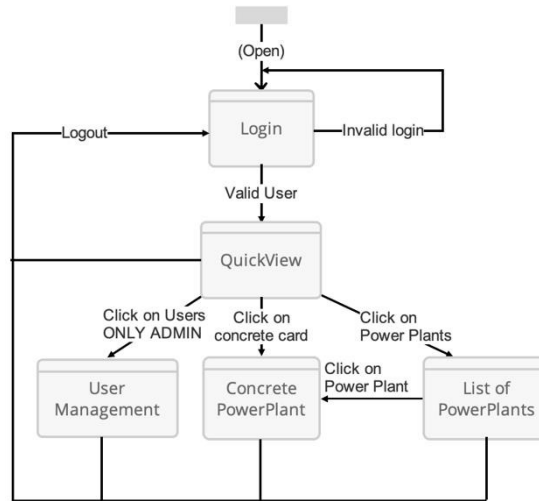


Figure 2 Screen sequence diagram

The user starts on the sign-in screen. Upon successful login, it proceeds to the Quick View screen where the power plants are displayed. Power plants are displayed in cards containing the power plant name, actual power, last data read time. After clicking on the power plant name, the user is redirected to a specific power plant screen where all available power plant data is displayed, as well as comparison charts.

You can register new and delete existing users on the User Management screen. Also, to be able change password of current user or add a new protocol.

### C. Relation schema of database

The relational scheme was designed to meet the needs of photovoltaic power plant monitoring. The STATUS table contains predefined states. These states of power plants and devices can be changed via the user interface or the communication program adjusting them. After adding a device or power plant, the status of the object is set to "online". The ROLES table contains preset user roles. With the user role, we review its rights to individual actions performed through the user interface.

The power, current, ac voltage, and alarms tables represent data from devices and power plants.

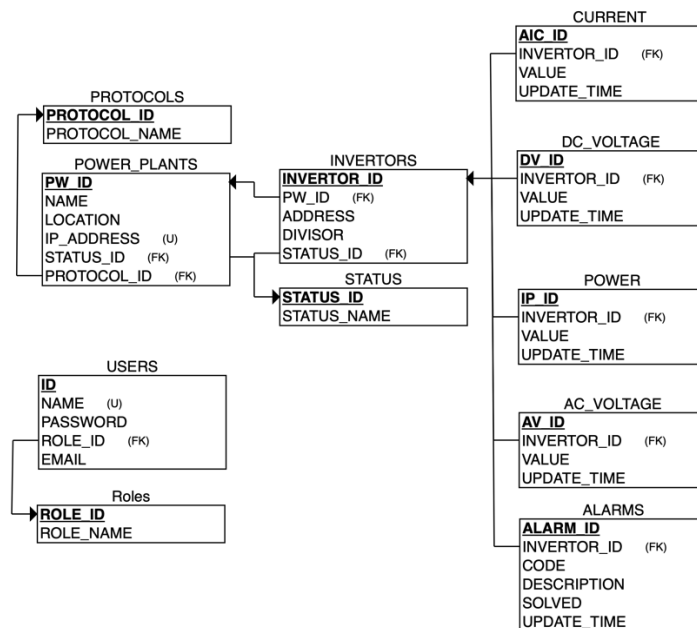


Figure 3 Relation schema of database



#### IV. HELPFUL HINTS FOR NEXT DEVELOPMENT

One of the main advantages of this monitoring system is any extensibility. The user has two options to expand the monitoring system.

The first option is to modify the communication program by implementing its own communication module. The communication module needs to be used in a switch that distinguishes the communication modules using `PROTOCOL_ID` from the database. You can get a unique identifier for your communication protocol by adding a new protocol through the user interface.

The second option is to use your own script to collect and write data to the database. For the proper functioning of the monitoring system, it is necessary to follow the relations resulting from the relational scheme.

#### V. CONCLUSION

The monitoring system is currently operating as a legal entity system. It is necessary to initialize it on the local network and then publish the user interface.

The monitoring system is complex and allows the addition of new power plants and monitored devices. The system is expandable with new communication protocols and no need for its adjustments.

This monitoring system could work as a service that will be provided online.

By implementing the artificial intelligence on the data obtained, it would be possible to predict the unexpected errors of the individual devices in the electro-signaling system. This would mean avoiding devices outages, extending the lifetime of power plant, and increasing overall plant performance.

#### 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 Program funded by the ERDF. We support research activities in Slovakia/This project is being co-financed by the European Union.

#### REFERENCES

- [1] Brian W Kernighan a Dennis M Ritchie. The C programming language. 2006.
- [2] K. Liu et al. „Design and Development of Management Information System for Research Project Process Based on Front-End and Back-End Separation“. In: (apr. 2017), s. 338–342. doi: 10.1109/CIIS.2017.55.
- [3] Brad Green a Shyam Seshadri. AngularJS. " O'Reilly Media, Inc.", 2013.
- [4] Brenda Laurel a S Joy Mountford. The art of human-computer interface design. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1990.
- [5] Robin Nixon. Learning PHP, MySQL, JavaScript, and CSS: A step-by-step guide to creating dynamic websites. " O'Reilly Media, Inc.", 2012.

# Prírodné inšpirované algoritmy rodiny ABC a porovnanie ich konvergencie

<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 využitia metaheuristických algoritmov pre riešenie úloh numerickej optimalizácie. Pozornosť je zameraná na inšpiráciu správaním sa včiel pri hľadaní zdrojov potravy v prostredí a ich využívanie. Článok sa zaoberá rodinou algoritmov ABC, tvorenou základným algoritmom a niekoľkými jeho vylepšeniami, ktorých jednotiacim prvkom je použitie toho istého modelu správania sa včiel. Kľúčovým faktorom je generovanie nových kandidátov riešení – či už počas inicializačnej alebo zlepšovacej časti algoritmu. V rámci experimentovania bolo realizovaných niekoľko experimentov s týmito algoritmi na sade testovacích funkcií, zameraných na ovplyvňovanie konvergencie algoritmov ku globálnemu minimu v závislosti na spôsobe generovania nových kandidátov.

**Kľúčové slová** — ABC algoritmus, konvergencia, numerická optimalizácia, včelí algoritmus

## I. ÚVOD

Pre riešenie úloh numerickej optimalizácie je k dispozícii veľa metód rôzneho typu. Jednu významnú triedu týchto metód reprezentujú prístupy, ktoré našli svoj zdroj inšpirácie vo výtvoroch prírody. Medzi známejšie zdroje inšpirácie patria pozorovania zo sveta hmyzu. V tejto kategórii patrí popredné miesto včelám – včelie algoritmy simulujú správanie sa včiel v rozličných situáciách. Je možné si vybrať algoritmus, inšpirujúci sa vyhľadávaním a zbieraním potravy, procesom párenia sa, sociálnou organizáciu roja a podobne, pričom na výber je včela medonosná, čmeliak alebo osa [1].

Pozornosť tohto článku je zameraná na rodinu algoritmov ABC (Artificial Bee Colony), kde inšpiráciou je zbieranie potravy včelami, ktorých pôsobenie je podmienené rôznymi rolami, ktoré jednotlivé včely realizujú.

## II. ALGORITMY RODINY ABC

### A. Štruktúra algoritmov rodiny

Každý algoritmus tejto rodiny je populačným algoritmom, ktorý v každej fáze identifikuje v  $D$  rozmernom priestore všetkých možných riešení  $SN$  bodov – riešení v tvare numerických vektorov  $X_i = \{x_{i,1}, \dots, x_{i,D}\}$ ,  $i = 1, \dots, SN$ .

Na začiatku sú tieto riešenia prvotne inicializované. Táto inicializácia sa deje pomocou náhodného výberu zložiek všetkých riešení.

Po ukončení inicializačnej časti nasleduje iteračná časť algoritmu s  $iter_{max}$  iteráciami, keď dochádza k postupnému zlepšovaniu jednotlivých riešení, kde pod zlepšením riešenia  $X_i$  sa rozumie náhrada tohto riešenia iným riešením  $V_i$ , ktoré je odvodené od pôvodného riešenia  $X_i$ . Táto náhrada sa realizuje iba v prípade, ak platí  $f(X_i) > f(V_i)$ , teda ak dochádza k nájdeniu nového riešenia s menšou hodnotou optimalizovanej funkcie  $f$  než bola u pôvodného riešenia (prípád minimalizácie danej funkcie). Ak nedochádza k zlepšeniu, tak sa náhrada nerealizuje a pôvodné riešenie  $X_i$  preživa.

Každá iterácia pozostáva z troch fáz:

1. urobí sa pokus o zlepšenie každého aktuálne uvažovaného riešenia (teda spolu  $SN$  pokusov, jeden pokus na každé aktuálne riešenie),
2. urobí sa spolu ďalších  $SN$  pokusov o zlepšenie riešení, pričom však riešenia sú volené náhodne s preferenciou tých riešení, ktoré reprezentujú menšiu hodnotu optimalizovanej funkcie (teda nejaké konkrétne riešenie nemusí byť vôbec zapojené alebo naopak môže byť zapojené viackrát),

3. riešenie, ktoré prežíva viac pokusov o zlepšenie bez jeho náhrady (strážené premennou *limit*) lepším riešením môže byť zahodené a nahradené iným riešením.

Spôsob inicializácie, generovanie nového riešenia  $V_i$  v prvej a druhej fáze iterácie, počet nahrádzaných riešení a spôsob ich náhrady v tretej fáze iterácie sú rôzne pre rôzne algoritmy danej rodiny algoritmov.

### B. Algoritmus ABC

Algoritmus ABC (Artificial Bee Colony) [2] bol prvým algoritmom danej rodiny algoritmov. Riešenia boli inicializované postupným generovaním zložiek

$$x_{i,j} = x_{min,j} + \chi(x_{max,j} - x_{min,j}) \quad (1)$$

kde  $i=1, \dots, SN$ ,  $j=1, \dots, D$ ,  $\chi$  je náhodným číslom z intervalu  $\langle 0, 1 \rangle$  a samotná zložka je generovaná z intervalu  $\langle x_{min}, x_{max} \rangle$ .

Nové riešenie  $V_i$  (v prvej aj druhej fáze iterácie) bolo odvodené od pôvodného riešenia  $X_i$  zmenou hodnoty jednej zložky

$$v_{i,j} = x_{i,j} + \rho(x_{i,j} - x_{m,j}) \quad (2)$$

kde  $j$  je náhodne zvolený index zložky z množiny  $\{1, \dots, D\}$ ,  $X_m$  je náhodne zvolené riešenie (rôzne od  $X_i$ ) a  $\rho$  je náhodným číslom z intervalu  $\langle -1, 1 \rangle$ . Nové riešenie sa tak generuje na základe porovnania aktuálneho riešenia s iným, náhodne zvoleným riešením, pričom zmena nastáva iba v jednej, náhodne vybranej zložke.

V tretej fáze iterácie sa nahrádza maximálne jedno (najdlhšie prežívajúce z tých, ktorých prežívanie už presiahlo limitnú hodnotu) riešenie novo inicializovaným riešením, ktoré je novo generované podľa (1).

### C. Algoritmus ABC/best

Algoritmus ABC (Global Best ABC) [3] sa snaží zaistiť rýchlejšiu konvergenciu jednak zmenou inicializácie a jednak zmenou spôsobu odvádzania nového riešenia. Inicializácia je založená na využití sínusoidového iterátora

$$ch_{k+1} = \sin(\pi ch_k) \quad (3)$$

kde  $ch_k$  je chaotická premenná, inicializovaná  $ch_0 = \chi$  a  $k=0, \dots, K_{max}$ . Sínusoidový iterátor je následne použitý pre generovanie  $SN$  riešení

$$x_{i,j} = x_{min,j} + ch_k(x_{max,j} - x_{min,j}) \quad (4)$$

a ďalších  $SN$  riešení podľa

$$x'_{i,j} = x_{min,j} + x_{max,j} - x_{i,j} \quad (5)$$

so zložkami symetrickými k prvej skupine riešení. Z týchto  $2SN$  riešení sa následne vyberie  $SN$  najlepších pre inicializáciu algoritmu.

Nové riešenie  $V_i$  (v prvej aj druhej fáze iterácie) bolo odvodené od pôvodného riešenia  $X_i$  zmenou hodnoty jednej zložky podľa

$$v_{i,j} = x_{best,j} + \rho(x_{r1,j} - x_{r2,j}) \quad (6)$$

alebo

$$v_{i,j} = x_{best,j} + \rho(x_{r1,j} - x_{r2,j}) + \rho(x_{r3,j} - x_{r4,j}) \quad (7)$$

kde  $X_{r1}, X_{r2}, X_{r3}$  a  $X_{r4}$  sú náhodne zvolené riešenia (rôzne od  $X_i$ ). Nové riešenie tak opäť vzniká modifikáciou jednej náhodne zvolenej zložky aktuálneho riešenia, pričom teraz sa na výpočte novej zložky zúčastňuje viac riešení. Modifikáciu podľa (6) používa variant algoritmu ABC/best/1 a podľa (7) vytvára zase nové riešenie variant algoritmu ABC/best/2.

### D. Algoritmus BSFABC

Algoritmus BSFABC (Best-so-far ABC) [4] používa rovnaký spôsob inicializácie ako ABC. Mení sa však spôsob vytvárania nového riešenia  $V_i$  v druhej fáze iterácie (v prvej fáze iterácie ostáva ako pri ABC), kde sa zameriava na doposiaľ najlepšie nájdené riešenie  $X_{best}$  a jeho hodnotu optimalizovanej funkcie  $f(X_{best})$ . Nové riešenie  $V_i$  je vtedy vytvárané podľa

$$v_{i,j} = x_{i,j} + \rho f(X_{best}) (x_{i,j} - x_{best,j}) \quad (8)$$

pre  $j=1, \dots, D$  – teda dochádza k modifikácii každej zložky aktuálneho riešenia, pričom sa nepočíta vzdialenosť aktuálneho riešenia k náhodne vybranému riešeniu ale k najlepšiemu doteraz nájdenému riešeniu.

Pri náhrade príliš dlho prežívajúceho jedinca sa používa modifikácia tohto jedinca použitím vzťahu

$$v_{i,j} = x_{i,j} + \rho \left[ \omega_{max} - \frac{iter}{iter_{max}} (\omega_{max} - \omega_{min}) \right] x_{i,j} \quad (9)$$

kde parametre  $\omega_{max}$  a  $\omega_{min}$  umožňujú dynamickú zmenu veľkosti maximálnej zmeny v závislosti na aktuálnej iterácii  $iter$ . Táto zmena sa deje pre všetky zložky aktuálneho riešenia.

### III. VYBRANÉ EXPERIMENTY S KONVERGENCIOU

#### A. Testovacie funkcie

Pre experimentovanie s algoritmi boli použité štyri testovacie funkcie, ktoré sú často využívané pre testovanie optimalizačných algoritmov [5].

*Ackleyho* funkcia je definovaná vzťahom

$$f_1(X) = (-20) \exp \left[ (-0.2) \sqrt{\frac{1}{D} \sum_{j=1}^D x_j^2} \right] - \exp \left[ \frac{1}{D} \sum_{j=1}^D \cos(2\pi x_j) \right] + 20 + \exp(1) \quad (10)$$

Globálny extrém funkcie je  $f_1(0, \dots, 0) = 0$ . Funkcia je charakterizovaná málo sa zvažujúcim tvarom, čo je kompenzované strmým poklesom v okolí počiatku. Superponovaná periodická zložka vytvára veľké množstvo lokálnych extrémov.

*Rastriginova* funkcia je definovaná vzťahom

$$f_2(X) = 10D + \sum_{j=1}^D [x_j^2 - 10 \cos(2\pi x_j)] \quad (11)$$

Globálny extrém je  $f_2(0, \dots, 0) = 0$ . Funkcia má konvexný tvar s mnohými lokálnymi minimami, ktoré sú pravidelne distribuované a sú tým väčšie, čím sú vzdialenejšie od globálneho minima.

*Rosenbrockova* funkcia je definovaná vzťahom

$$f_3(X) = \sum_{j=1}^{D-1} [100(x_{j+1} - x_j^2)^2 + (x_j - 1)^2] \quad (12)$$

Globálny extrém je  $f_3(1, \dots, 1) = 0$ . Funkcia je unimodálna, extrém leží v úzkom parabolickom údolí, ktoré je jednoduché nájsť – avšak konvergencia k minimu v tomto údolí je obtiažna kvôli plochosti dna údolia.

*Salomonova* funkcia je definovaná vzťahom

$$f_4(X) = 1 - \cos \left( 2\pi \sqrt{\sum_{j=1}^D x_j^2} \right) + 0.1 \sqrt{\sum_{j=1}^D x_j^2} \quad (13)$$

Globálny extrém je  $f_4(0, \dots, 0) = 0$ . Funkcia je tiež vysoko multimodálna so symetrickým tvarom.

#### B. Počiatočné nastavenie parametrov

Implementované podoby algoritmov vyžadujú nastavenie množiny parametrov na vhodné hodnoty. Problémom môže byť, ak nejaké konkrétne nastavenie, vhodné pre nejakú testovaciu funkciu, sa ukáže menej vhodným v prípade funkcie inej. Z tohto dôvodu sme zvolili osobitné nastavovanie pre každú testovaciu funkciu. Postup nastavenia pozostával z dvoch po sebe idúcich fáz:

- voľba počiatočných hodnôt,
- iteračné zlepšovanie hodnôt.

V prvej fáze bol pre každý algoritmus definovaný tzv. počiatočný stav – stav, v ktorom boli použité určité preddefinované hodnoty. Tieto hodnoty sú v nasledujúcej tabuľke

Tabuľka 1  
 Preddefinované hodnoty parametrov

| SN | iter <sub>max</sub> | Limit | K <sub>max</sub> | $\omega_{min}$ | $\omega_{max}$ |
|----|---------------------|-------|------------------|----------------|----------------|
| 30 | 3000                | 100   | 300              | 0.2            | 1.0            |

Prvé dva parametre (spolu s použitou dimenziou funkcií  $D=10$ ) reprezentujú podmienky, v ktorých sme algoritmy testovali. Pre hodnoty parametrov  $K_{max}$ ,  $\omega_{min}$  a  $\omega_{max}$  boli použité hodnoty, doporučené v [4]. Jediným parametrom, ktorého hodnota bola v druhej fáze zlepšovaná, bol *limit*. Boli skúšané rôzne hodnoty (vrátane hodnôt závislých na  $SN$  a  $D$ ), ako výsledná hodnota bolo použité  $limit=300$ . Táto hodnota sa napokon ukázala ako vhodná pre všetky použité testovacie funkcie, čo svedčí o robustnosti daného typu algoritmov.

### C. Porovnanie výkonnosti algoritmov

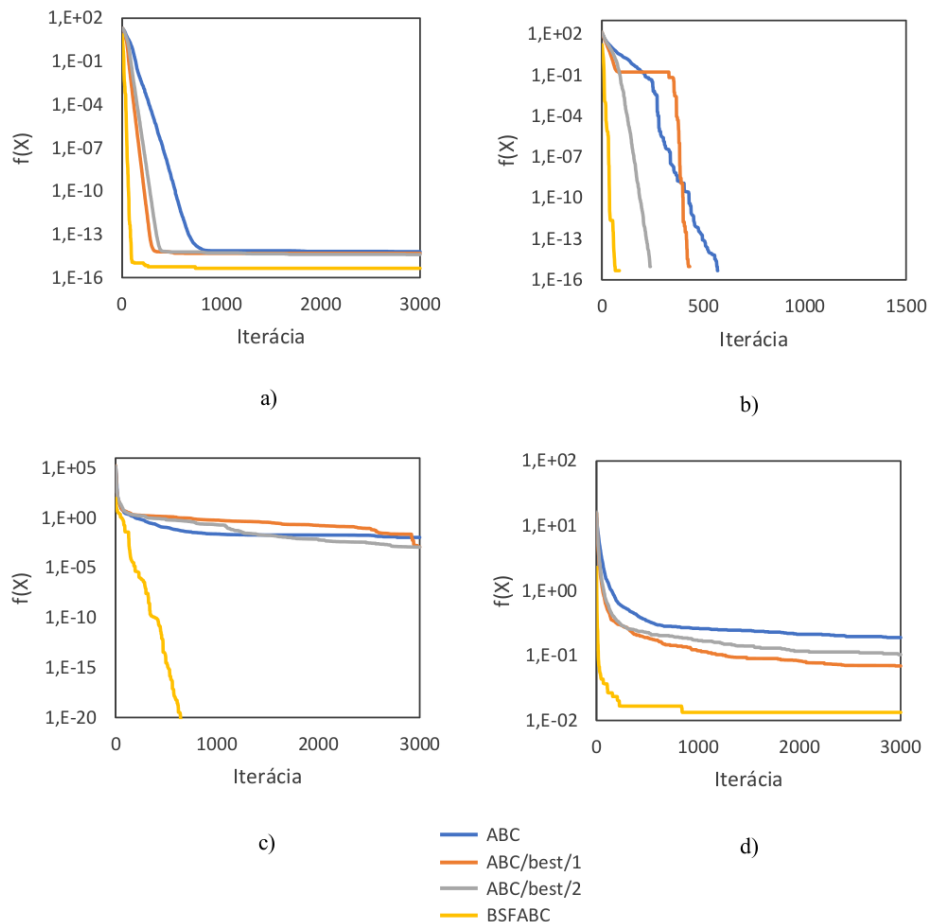
Z dôvodu stochastickej povahy algoritmov bolo pre každú funkciu a každý algoritmus vykonaných 30 experimentov a výsledky boli spriemerované (čo je typickým postupom pri porovnávaní optimalizačných algoritmov). Dosažené výsledky [6] sú v nasledujúcej tabuľke.

Tabuľka 2  
 Priemerné najlepšie riešenia

|            | ABC                 | ABC/best/1          | ABC/best/2          | BSFABC              |
|------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Ackley     | 6.365279E-15        | 4.825769E-15        | 3.996803E-15        | <b>4.440892E-16</b> |
| Rastrigin  | <b>0.000000E+00</b> | <b>0.000000E+00</b> | <b>0.000000E+00</b> | <b>0.000000E+00</b> |
| Rosenbrock | 1.112347E-02        | 1.231047E-03        | 1.183328E-03        | <b>0.000000E+00</b> |
| Salomon    | 1.898739E-01        | 6.918214E-02        | 1.0354333E-01       | <b>1.331645E-02</b> |

Každý z algoritmov po uplynutí 3000 iterácií dospeľ k rovnakému výsledku pri Rastriginovej funkcii, pri ostatných funkciách sa dosažené výsledky líšili – a žiadny z algoritmov pre ne nenašiel presnú polohu globálneho minima. Jasným víťazom sa stal algoritmus BSFABC, ktorý na žiadnej z testovacích funkcií nebol horší, než hociktorý iný z testovaných algoritmov.

Grafické zobrazenie konvergenčnej výkonnosti algoritmov na každej z testovaných funkcií (kvôli názornosti menej iterácií v prípade b) je zobrazené na nasledujúcom obrázku.



Obr. 1 Konvergenca algoritmov rodiny ABC na funkciách: Ackley (a), Rastrigin (b), Rosenbrock (c) a Salomon.(d)

Na základe obr. 1 je možné potvrdiť, že najvýkonnejším algoritmom sa jednoznačne stal BSFABC, ktorý z hľadiska rýchlosti konvergenencie ako aj blízkosti k hľadanému globálnemu minimu prekonal každého zo svojich konkurentov. Algoritmus ABC mal síce v počiatočných iteráciách na Rastriginovej a Rosenbrockovej funkcii tendenciu prekonať algoritmy ABC/best/1 a ABC/best/2, no s pribúdajúcimi iteráciami ho spomenuté dva algoritmy dobehli a prekonal. Algoritmus ABC/best/2 na troch zo štyroch funkciách konvergenčne prekonal konkurenta ABC/best/1, avšak na Salomonovej funkcii bol horší.

#### D. Rozšírené porovnanie výkonnosti

Z hľadiska detailnejšieho porovnania algoritmov bolo realizované porovnanie na rozšírenej množine testovacích funkcií. Okrem vyššie spomínaných štyroch funkcií boli použité tieto dodatočné testovacie funkcie: *sférická* funkcia, *Griewankova* funkcia, *Levyho* funkcia, *Schweffelova* funkcia, *Quingova* funkcia a *Zakharova* funkcia [5]. Celkom bolo teda použitých desať testovacích funkcií.

Dosiahnuté výsledky sú v nasledujúcej tabuľke, ktorá udáva relatívnu výkonnosť testovaných algoritmov navzájom.

Tabuľka 3  
Relatívne porovnanie testovaných algoritmov

|            | ABC | ABC/best/1 | ABC/best/2 | BSFABC |
|------------|-----|------------|------------|--------|
| ABC        | -   | 2          | 2          | 1      |
| ABC/best/1 | 5   | -          | 4          | 1      |
| ABC/best/2 | 5   | 3          | -          | 1      |
| BSFABC     | 7   | 6          | 7          | -      |

Tabuľka hovorí, že napríklad algoritmus ABC bol na dvoch funkciách lepší ako algoritmus ABC/best/1 a naopak ABC/best/1 bol lepší ako ABC na 5 testovacích funkciách (a teda na 3 funkciách ich výkonnosť bola porovnateľná).

Z výsledkov uvedenej tabuľky je opäť zrejماً dominancia algoritmu BSFABC (hoci na jednej funkcii bol horší voči každému z ostatných algoritmov). Výkonnosť algoritmov ABC/best/1 a ABC/best/2 je porovnateľná, žiadny z nich sa neukázal signifikantne lepší ako jeho konkurent. A výkonnosť algoritmu ABC bola najhoršia – nie je dôvod na jeho používanie v prípade, že je k dispozícii implementácia niektorého zo zostávajúcich algoritmov.

#### IV. ZÁVER

Na základe vykonaných experimentov je možné konštatovať, že nahradením spôsobu generovania nových riešení, založeného na využití modifikácie riešenia v závislosti na jeho diferencii voči inému riešeniu, je možné zlepšiť konvergenčné vlastnosti algoritmu ABC. Úspešným sa ukázalo ako zvýšenie náhodnosti (zapojenie viac náhodne vybraných riešení) tak aj zvýšenie tlaku na presun riešení do sľubnejších oblastí prehľadávaného priestoru (zapojením najlepšieho riešenia do procesu modifikácie ostatných riešení). Uvedené by bolo možné ďalej rozvíjať experimentovaním s rôznymi podobami oboch prístupov za účelom hľadania vhodného kompromisu medzi výkonnosťou konvergencie 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 výskumu podporovanom Národným projektovým grantom pre výskum a vývoj 1/0773/16 2016-2019 „Metódy umelej inteligencie pre inteligentnú robotiku založené na cloudovom počítaní“.

#### LITERATÚRA

- [1] D. Karaboga et al.: A comprehensive survey: artificial bee colony (ABC) algorithm and applications, *Artificial Intelligence Review*, roč. 42, 2014, 21-57.
- [2] D. Karaboga and B. Basturk: On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm, *Applied Soft Computing*, roč. 8, 2008, 687-697.
- [3] W. Gao, S. Liu and L. Huang: A global best artificial bee colony algorithm for global optimization, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, roč. 236, 2012, č. 11, 2741-2753.
- [4] A. Banharsakun et al.: The best-so-far selection in Artificial Bee Colony algorithm, *Applied Soft Computing*, roč. 11, 2011, č. 2, 2888-2901.
- [5] M. Jamil and X.S. Yang: A Literature Survey of Benchmark Functions for Global Optimization Problems, *Int. Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimization*, roč. 4, 2013, č. 2, 150-194.
- [6] J. Biroš: Porovnanie prírodne inšpirovaných optimalizačných metód, Diplomová práca, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technická univerzita v Košiciach, 2019, 83 strán.

# Robustness of interval Monge matrices in binary fuzzy algebra

<sup>1</sup>Máté HIREŠ, <sup>2</sup>Monika MOLNÁROVÁ

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

<sup>1</sup>mate.hires@student.tuke.sk, <sup>2</sup>monika.molnarova@tuke.sk

**Abstract** – Robustness of Monge matrices with inexact data over binary fuzzy algebra is studied. Sufficient or/and necessary conditions for interval Monge matrices to be possibly or/and universally robust are presented in this paper. Corresponding algorithms with polynomial computational complexity are described and the graphical interface for checking the robustness is introduced.

**Keywords** – fuzzy algebra, robustness, Monge matrix, matrix with inexact data

## I. INTRODUCTION

The max-min algebra is an extremal algebra (at least one operation creates no new elements) used to model applications of discrete dynamic systems. The max-min algebra called also fuzzy algebra is used in diverse areas (graph theory, knowledge engineering, managing traffic or production) where the considered systems or devices can be represented by a matrix. Properties of fuzzy matrices were described in [9]. The Monge matrices and their applications were studied in [1], [3]. Robustness of Monge fuzzy matrices was presented in [6]. Robustness of interval fuzzy matrices was studied in [8] and [7].

## II. BACKGROUND OF THE PROBLEM

The fuzzy algebra  $\mathcal{B}$  is a triple  $(B, \oplus, \otimes)$ , where  $(B, \leq)$  is a bounded linearly ordered set with binary operations *maximum* and *minimum*, denoted by  $\oplus, \otimes$ . The least element in  $B$  will be denoted by  $O$ , the greatest one by  $I$ . The greatest common divisor of a set  $S \subseteq \mathbb{N}$  is denoted by  $\gcd S$ . For a given natural  $n \in \mathbb{N}$ , we use the notation  $N = \{1, 2, \dots, n\}$ . For any  $m, n \in \mathbb{N}$ ,  $B(m, n)$  denotes the set of all matrices of type  $m \times n$  and  $B(n)$  the set of all  $n$ -dimensional column vectors over  $\mathcal{B}$ . The matrix operations over  $\mathcal{B}$  are defined formally in the same manner (with respect to  $\oplus, \otimes$ ) as matrix operations over any field. The  $r$ th power of a matrix  $A \in B(n, n)$  is denoted by  $A^r$ , with elements  $a_{ij}^r$ .

For a given matrix  $A \in B(n, n)$  the symbol  $G(A) = (N, E)$  stands for the complete, edge-weighted digraph associated with  $A$ , i.e. the vertex set of  $G(A)$  is  $N$ , and the capacity of any edge  $(i, j) \in E$  is  $a_{ij}$ . In addition, for given  $h \in B$ , the *threshold digraph*  $G(A, h)$  is the digraph  $G = (N, E')$  with the vertex set  $N$  and the edge set  $E' = \{(i, j); i, j \in N, a_{ij} \geq h\}$ .

A strongly connected component  $\mathcal{K}$  of a digraph is called non-trivial, if there is a cycle of positive length in  $\mathcal{K}$ . The *period* of  $\mathcal{K}$  is defined as  $\text{per } \mathcal{K} = \gcd \{\ell(c); c \text{ is a cycle in } \mathcal{K} \text{ with length } \ell(c) > 0\}$ . If  $\mathcal{K}$  is trivial, then  $\text{per } \mathcal{K} = 1$ .

Let  $A \in B(n, n)$  and  $x \in B(n)$ . The sequence  $O(A, x) = \{x^{(0)}, x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(n)}, \dots\}$  is the orbit of  $x = x^{(0)}$  generated by  $A$ , where  $x^{(r)} = A^r \otimes x^{(0)}$  for each  $r \in \mathbb{N}$ .

For a given matrix  $A \in B(n, n)$ , the number  $\lambda \in B$  and the  $n$ -tuple  $x \in B(n)$  are the so-called *eigenvalue* of  $A$  and *eigenvector* of  $A$ , respectively, if they satisfy the equation  $A \otimes x = \lambda \otimes x$ . We define the corresponding *eigenspace*  $V(A, \lambda)$  as the set  $V(A, \lambda) = \{x \in B(n); A \otimes x = \lambda \otimes x\}$ . Let  $\lambda \in B$ . A matrix  $A \in B(n, n)$  is *ultimately  $\lambda$ -periodic* if there are natural numbers  $p$  and  $R$  such that the following holds:  $A^{k+p} = \lambda \otimes A^k$  for all  $k \geq R$ . The smallest natural number  $p$  with above property is called the period of  $A$ , denoted by  $\text{per}(A, \lambda)$ . In case  $\lambda = I$  we denote  $\text{per}(A, I)$  by abbreviation  $\text{per } A$ .

**Definition 1.** Let  $A = (a_{ij}) \in B(n, n)$ ,  $\lambda \in B$ . Let  $T(A, \lambda) = \{x \in B(n); O(A, x) \cap V(A, \lambda) \neq \emptyset\}$ .  $A$  is called  $\lambda$ -robust if  $T(A, \lambda) = B(n)$ . A  $\lambda$ -robust matrix with  $\lambda = I$  is called a robust matrix.

**Lemma 1.** [9] Let  $A = (a_{ij}) \in B(n, n)$ . Then  $A$  is robust if and only if  $\text{per } A = 1$ .



### III. ROBUSTNESS OF MONGE MATRICES

In this section we recall known results concerning robustness of Monge matrices with fixed data. Moreover, we introduce the notion trivial matrix and formulate a theorem for trivial matrices.

**Definition 2.** A matrix  $A = (a_{ij}) \in B(m, n)$  is a convex Monge matrix if and only if

$$a_{ij} \otimes a_{kl} \leq a_{il} \otimes a_{kj} \quad \text{for all } i < k, j < l.$$

**Definition 3.** We say, that a matrix  $A$  is a non-trivial matrix, if the threshold digraph  $G(A, 1)$  contains a cycle of positive length. Otherwise the matrix is trivial.

**Theorem 1.** [5] Let  $A \in B(n, n)$  be a trivial matrix. Then  $A$  is robust.

The necessary and sufficient condition for a binary Monge matrix to be robust was proved in [6]. It was generalized for arbitrary Monge matrices over fuzzy algebra in [7].

**Theorem 2.** [6] Let  $A \in B(n, n)$  be a Monge matrix. Then  $A$  is robust if and only if the digraph  $G(A, 1)$  contains at most one non-trivial strongly connected component and this has a loop.

**Theorem 3.** [3] Let  $c = (i_1, i_2, \dots, i_k, i_1)$  be a cycle of length  $k \geq 3$ . Then there exist edges  $(i_j, i_{j+1})$  and  $(i_l, i_{l+1})$  on the cycle  $c$  such that

$$i_j < i_l \quad \text{and} \quad i_{j+1} < i_{l+1}.$$

By Theorem 3 each cycle of length at least three can be replaced by pair of shorter cycles. Repeated applying of the procedure for an arbitrary cycle of length at least three results in a set of cycles with length at most two. Hence we can restrict ourselves in our considerations to cycles of length one and two. We have proved several theorems considering structure of  $G(A, 1)$  for a Monge matrix with respect to strongly connected components (see [5]).

### IV. ROBUSTNESS OF INTERVAL MONGE MATRICES

In this section we shall deal with matrices which elements are inexact (interval matrices). Similarly to [2], [4], we define an interval matrix  $\mathbf{A}$ .

**Definition 4.** Let  $\underline{A}, \bar{A} \in B(n, n)$ ,  $\underline{A} \leq \bar{A}$ . An interval matrix  $\mathbf{A}$  with bounds  $\underline{A}$  and  $\bar{A}$  is defined as follows

$$\mathbf{A} = [\underline{A}, \bar{A}] = \{A \in B(n, n); \underline{A} \leq A \leq \bar{A}\}.$$

**Definition 5.** An interval matrix  $\mathbf{A}$  is called

- possibly robust if there exists a matrix  $A \in \mathbf{A}$  such that  $A$  is robust,
- universally robust if each matrix  $A \in \mathbf{A}$  is robust.

**Definition 6.** An interval matrix  $\mathbf{A}^M$  for  $\mathbf{A} = [\underline{A}, \bar{A}]$  is called interval Monge, if  $\underline{A}, \bar{A} \in B(n, n)$  are Monge matrices and  $\mathbf{A}^M = \{A \in \mathbf{A}; A \text{ is Monge}\}$ .

We have proved necessary and/or sufficient conditions for possible or universal robustness of Monge matrices with inexact data. We have distinguished cases when  $\bar{A}$  is trivial (hence all matrices from  $\mathbf{A}^M$  are trivial), further, when  $\underline{A}$  is trivial and  $\bar{A}$  is non-trivial and finally, when  $\underline{A}$  is non-trivial.

**Theorem 4.** [5] Let  $\mathbf{A} = [\underline{A}, \bar{A}]$  with trivial matrix  $\underline{A} \in B(n, n)$  for  $n \geq 2$ . Let  $\mathbf{A}^M$  be the interval Monge matrix. Let  $G(\bar{A}, 1)$  contain the cycle  $(1, n, 1)$ . Then  $\mathbf{A}^M$  is not universally robust.

**Theorem 5.** [5] Let  $\mathbf{A} = [\underline{A}, \bar{A}]$ . Let the matrix  $\bar{A} \in B(n, n)$  be trivial. Then  $\mathbf{A}^M$  is universally robust.

Obviously the universal robustness implies possible robustness as well.

**Theorem 6.** [5] Let  $\mathbf{A} = [\underline{A}, \bar{A}]$ . Let the matrix  $\underline{A} \in B(n, n)$  be trivial and the matrix  $\bar{A} \in B(n, n)$  be non-trivial. Then

1.  $\mathbf{A}^M$  is possibly robust,
2.  $\mathbf{A}^M$  is universally robust, if the following hold:
  - (i)  $G(\bar{A}, 1)$  contains exactly one non-trivial strongly connected component  $\bar{K}$  and this component has a loop,
  - (ii)  $\bar{K}$  does not contain the cycle  $(1, n, 1)$ ,
  - (iii) for each cycle  $(c, d, c)$ ,  $c < d$  in  $\bar{K}$  at least one of the statements hold:
    - $\exists k, l \leq c, k \neq l$  such that whether  $\underline{a}_{kl} = 1$  or  $\underline{a}_{lk} = 1$ .
    - $\exists k, l \geq d, k \neq l$  such that whether  $\underline{a}_{kl} = 1$  or  $\underline{a}_{lk} = 1$ .

**Theorem 7.** [5] Let  $\mathbf{A} = [\underline{A}, \overline{A}]$ . Let the matrix  $\underline{A} \in B(n, n)$  be non-trivial. If  $\mathbf{A}^M$  is possibly robust, then the following statements hold:

- (i)  $G(\overline{A}, 1)$  contains a non-trivial strongly connected component with a loop  $\overline{\mathcal{K}} = (N_{\overline{\mathcal{K}}}, E_{\overline{\mathcal{K}}})$ ,
- (ii)  $G(\underline{A}, 1)$  contains non-trivial strongly connected components generated by nodes from  $N_{\overline{\mathcal{K}}}$  exclusively.

**Theorem 8.** [5] Let  $\mathbf{A} = [\underline{A}, \overline{A}]$ . Let the matrix  $\underline{A} \in B(n, n)$  be non-trivial. Then  $\mathbf{A}^M$  is universally robust if and only if the following statements hold:

- (i)  $G(\overline{A}, 1)$  contains exactly one non-trivial strongly connected component  $\overline{\mathcal{K}} = (N_{\overline{\mathcal{K}}}, E_{\overline{\mathcal{K}}})$  and this component has a loop,
- (ii)  $G(\underline{A}, 1)$  contains exactly one non-trivial strongly connected component  $\underline{\mathcal{K}} = (N_{\underline{\mathcal{K}}}, E_{\underline{\mathcal{K}}})$  and this component has a loop,
- (iii) Let  $t = \min\{N_{\underline{\mathcal{K}}}\}$  and  $u = \max\{N_{\underline{\mathcal{K}}}\}$ . For each cycle  $(m, n, m)$  in  $\overline{\mathcal{K}}$ , with  $m < t$ ,  $n > u$ , there exists at least one of the indices  $b, c$  and at least one of the indices  $d, e$ , for  $b, d \leq m$  and  $c, e \geq n$  such that both conditions hold
  - $a_{bu} = 1$  or  $a_{ct} = 1$ ,
  - $a_{te} = 1$  or  $a_{ud} = 1$ .

## V. SOFTWARE IMPLEMENTATION

In this section we describe briefly the application for verification of particular properties of interval Monge matrices. We introduce the pseudocodes for individual algorithms and we illustrate their functioning on several examples. The graphical interface as well as algorithms were programmed in programming language Java using libraries Java AWT and Swing. Graphviz Java API was used for drawing the digraphs.

The theorems in previous section were the base for suggested algorithms, which verify or visualize, respectively, stepwise:

1. Monge property of input matrices,
2. triviality of input matrices,
3. possible robustness of interval Monge matrix,
4. universal robustness of interval Monge matrix,
5. threshold digraph.

We have used the Tarjans algorithm, with computational complexity  $O(n^2)$ , to find the non-trivial strongly connected components (with abbreviation SCC). Thus the described algorithms have polynomial complexity. The overall complexity is  $O(n^4)$ .

Pseudocode of algorithm for verification of Monge property:

---

### Algorithm 1 Method isMonge

---

```

1: procedure ISMONGE( $\underline{A}, \overline{A}, dimension$ )
2:   for  $i := 1, \dots, n - 1$  do
3:     for  $j := 1, \dots, n - 1$  do
4:       for  $k := i + 1, \dots, n$  do
5:         for  $l := j + 1, \dots, n$  do
6:           if  $\min(a_{ij}, a_{kl}) > \min(a_{il}, a_{kj})$  or  $\min(\overline{a}_{ij}, \overline{a}_{kl}) > \min(\overline{a}_{il}, \overline{a}_{kj})$  then
7:             return  $\underline{A}$  or  $\overline{A}$  are not Monge.
8:   return  $\underline{A}$  and  $\overline{A}$  are Monge.

```

---

Pseudocode of algorithm for verification of triviality:

---

### Algorithm 2 Method isTrivial

---

```

1: procedure ISTRIVIAL( $\underline{A}, \overline{A}, dimension$ )
2:   for  $i := 1, \dots, dimension$  do
3:     for  $j := 1, \dots, dimension$  do
4:       if  $\overline{a}_{ij} = 1$  and  $\overline{a}_{ji} = 1$  then
5:         if  $a_{ij} = 1$  and  $a_{ji} = 1$  then
6:           return  $\underline{A}$  and  $\overline{A}$  are non-trivial.
7:         else
8:           return  $\underline{A}$  is trivial,  $\overline{A}$  non-trivial.
9:   return  $\underline{A}$  and  $\overline{A}$  are trivial.

```

---

Pseudocode of algorithm for verification of possible robustness:

---

**Algorithm 3** Method isPossibleRobust
 

---

```

1: procedure ISPOSSIBLEROBUST( $\underline{A}$ ,  $\overline{A}$ , dimension)
2:   if  $\underline{A}$  is trivial then
3:     return  $\mathbf{A}^M$  is possibly robust.
4:   else
5:     Using Tarjans algorithm find all SCC  $\mathcal{K} \in G(\overline{A}, 1)$ 
6:     Using Tarjans algorithm find all SCC  $\mathcal{K} \in G(\underline{A}, 1)$ 
7:     if No SCC in  $G(\overline{A}, 1)$  does contain loop then
8:       return  $\mathbf{A}^M$  is not possibly robust.
9:     for all non-trivial SCC  $\mathcal{K} \in G(\overline{A}, 1)$  do
10:      if SCC contains loop then
11:        Save  $\overline{\mathcal{K}} = (N_{\overline{\mathcal{K}}}, E_{\overline{\mathcal{K}}})$ 
12:      for all non-trivial SCC  $\mathcal{K} \in G(\underline{A}, 1)$  do
13:        for all vertex  $v \in \mathcal{K}$  do
14:          if  $v \notin N_{\overline{\mathcal{K}}}$  then
15:            return  $\mathbf{A}^M$  is not possibly robust.
16:   return We can not decide, whether  $\mathbf{A}^M$  is possibly robust.

```

---

Pseudocode of algorithm for verification of universal robustness:

---

**Algorithm 4** Method isUniversalRobust
 

---

```

1: procedure ISUNIVERSALROBUST( $\underline{A}$ ,  $\overline{A}$ , dimension)
2:   Using Tarjans algorithm find all SCC  $\mathcal{K} \in G(\overline{A}, 1)$ 
3:   Using Tarjans algorithm find all SCC  $\mathcal{K} \in G(\underline{A}, 1)$ 
4:   if  $\underline{A}$  and  $\overline{A}$  are trivial then
5:     return  $\mathbf{A}^M$  is universally robust.
6:   else if  $\underline{A}$  is trivial,  $\overline{A}$  is non-trivial then
7:     if  $G(\overline{A}, 1)$  contains more than one SCC then
8:       return  $\mathbf{A}^M$  is not universally robust.
9:     else The only SCC in  $G(\overline{A})$  is  $\overline{\mathcal{K}}$ 
10:    if  $G(\overline{A}, 1)$  contains cycle  $(1, n, 1)$  then
11:      return  $\mathbf{A}^M$  is not universally robust.
12:    for all cycle  $(c, d, c) \in \overline{\mathcal{K}}$  do
13:      if  $\forall k, l \leq c$  holds  $a_{kl} = a_{lk} = 0$  and  $\forall k, l \geq d$  holds  $a_{kl} = a_{lk} = 0$  then
14:        return  $\mathbf{A}^M$  is universally robust.
15:    return We can not decide, whether  $\mathbf{A}^M$  is universally robust.
16:   else if  $\underline{A}$  and  $\overline{A}$  are non-trivial then
17:     if  $G(\overline{A}, 1)$  or  $G(\underline{A}, 1)$  contains more than one SCC then
18:       return  $\mathbf{A}^M$  is not universally robust.
19:     else The only SCC in  $G(\underline{A})$  is  $\underline{\mathcal{K}}$ , in  $G(\overline{A})$  it is  $\overline{\mathcal{K}}$ 
20:     if  $\underline{\mathcal{K}}$  or  $\overline{\mathcal{K}}$  does not contain loop then
21:       return  $\mathbf{A}^M$  is not universally robust.
22:      $t = \min\{N_{\underline{\mathcal{K}}}\}, u = \max\{N_{\overline{\mathcal{K}}}\}$ 
23:     for all cycle  $(k, l, k), k < t, l > u$  do
24:       if  $\forall b, d \leq k, c, e \geq l$  holds  $a_{bu} = a_{ct} = 0$  or  $a_{ud} = a_{te} = 0$  then
25:         return  $\mathbf{A}^M$  is universally robust.
26:   return We can not decide, whether  $\mathbf{A}^M$  is universally robust.

```

---

In the following examples we illustrate the above algorithms using the created graphical interface (see [5]). After choosing the size of input matrices we can change the predefined 0 values in both matrices  $\underline{A}, \overline{A}$ . Using button “Verify Monge property of  $\underline{A}, \overline{A}$ ” we can check whether the given matrices define an interval Monge matrix  $\mathbf{A}^M$ . After a positive answer we continue with second button “Verify triviality  $\underline{A}, \overline{A}$ ” to switch to the proper part of algorithms to check the possible or/and universal robustness of  $\mathbf{A}^M$ . Finally, after using button “Verify possible robustness of  $\mathbf{A}^M$ ,” or button “Verify universal robustness of  $\mathbf{A}^M$ ” we get the result.

We have considered  $\mathbf{A} = [\underline{A}, \overline{A}]$  for  $\underline{A} \in B(5, 5)$  and  $\overline{A} \in B(5, 5)$  in bellow examples.

**Example 1.** In the first example  $\bar{A}$  is robust. Hence, the interval Monge matrix  $A^M$  is possibly robust (see Fig. 1). The robust matrix  $A \in A^M$  and the digraph  $G(A, 1)$  are created (see Fig. 2).

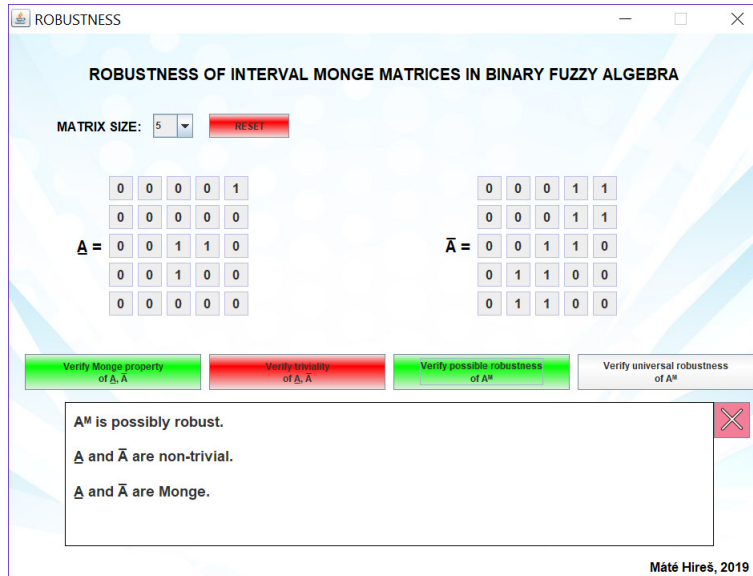


Fig. 1: Possible robustness - positive case

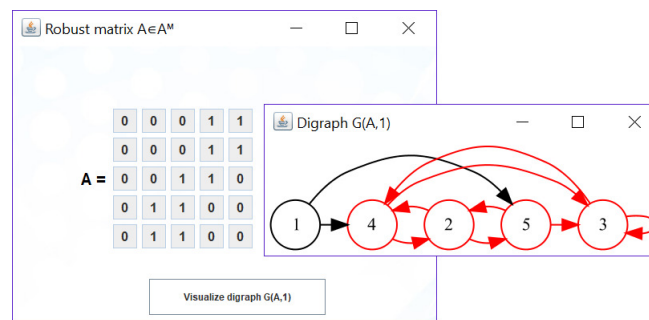


Fig. 2: Possible robustness - Robust matrix with digraph

Checking the universal robustness we get the negative answer (see Fig. 3). The non-robust matrix  $A \in A^M$  with corresponding digraph  $G(A, 1)$  are created (see Fig. 4).

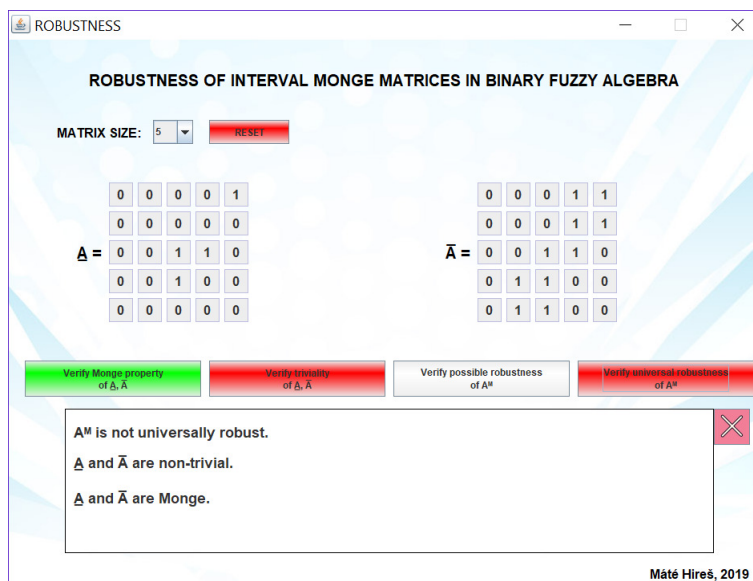


Fig. 3: Universal robustness - negative case

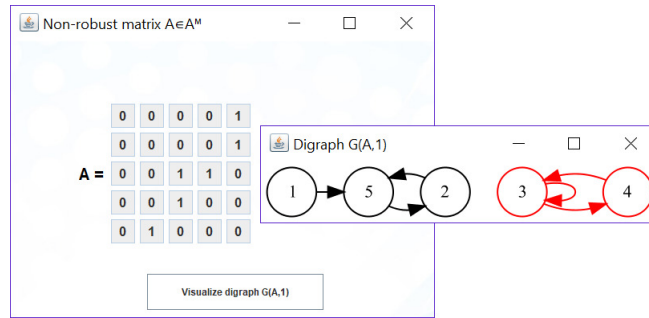


Fig. 4: Universal robustness - non-robust matrix with digraph

**Example 2.** The interval Monge matrix  $A^M$  is universally robust (see Fig. 5). Hence,  $A^M$  is possibly robust.

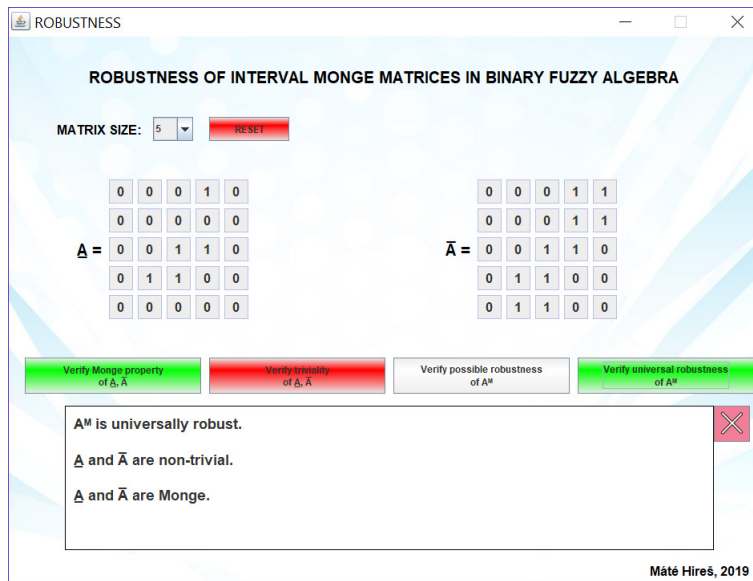


Fig. 5: Universal robustness - positive case

**Example 3.** The interval Monge matrix  $A^M$  is not possibly robust (see Fig. 6). Hence  $A^M$  can not be universally robust as well.

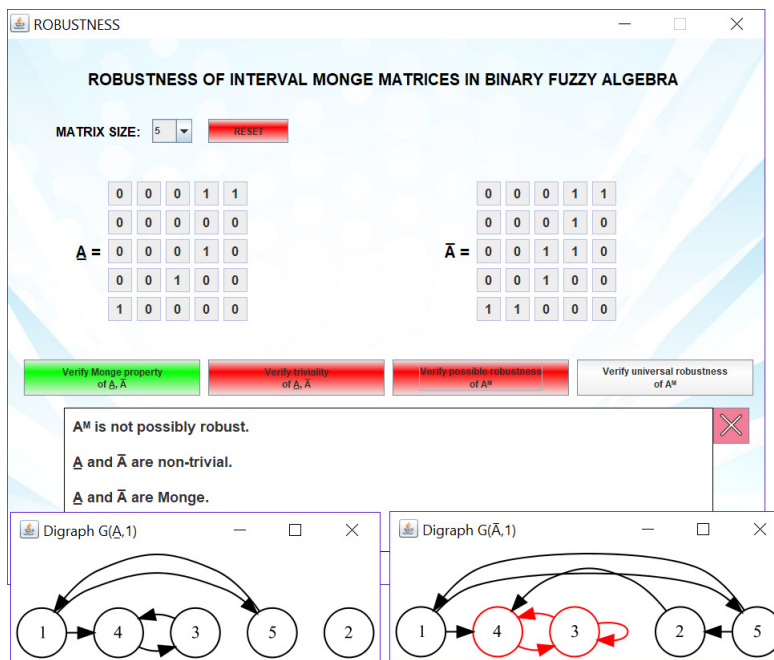


Fig. 6: Possible robustness - negative case

#### REFERENCES

- [1] R. E. Burkard, B. Klinz and R. Rudolf, "Perspectives of Monge properties in optimization," *DAM*, Volume **70**, pp. 95–161, 1996.
- [2] M. Fiedler, J. Nedoma, J. Ramík, J. Rohn and K. Zimmermann, "Linear Optimization Problems with Inexact Data." Springer–Verlag, Berlin, 2006.
- [3] M. Gavalec and J. Plavka, "An  $O(n^2)$  algorithm for maximum cycle mean of Monge matrices in max algebra," *DAM*, Volume **127**, pp. 651–656, 2003.
- [4] M. Gavalec and K. Zimmermann, "Classification of solutions to systems of two-sided equations with interval coefficients," *Inter. J. of Pure and Applied Math.*, Volume **45**, pp. 533–542, 2008.
- [5] M. Hireš, "Robustnosť binárnych mongeovských fuzzy matic s nepresnými dátami," Master's thesis, Technical University of Košice, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, 2019.
- [6] M. Molnárová, "Robustness of Monge matrices in fuzzy algebra," In: *Proceedings of 32<sup>nd</sup> Int. Conference Mathematical Methods in Economics 2014*, pp. 679–684, 2014.
- [7] M. Molnárová, "Possible and universal robustness of Monge fuzzy matrices," In: *Proceedings of 34<sup>th</sup> Int. Conference Mathematical Methods in Economics 2016*, pp. 582–587, 2016.
- [8] M. Molnárová, H. Myšková and J. Plavka, "The robustness of interval fuzzy matrices," *DAM*, Volume **438**, pp. 3350–3364, 2013.
- [9] J. Plavka and P. Szabó, "On the  $\lambda$ -robustness of matrices over fuzzy algebra," *DAM*, Volume **159** Issue 5, pp. 381–388, 2011.

# Microgrid model with electric car charging

<sup>1</sup>Michal IVANČÁK, <sup>2</sup>Juraj KURIMSKÝ

<sup>1</sup> Department of Electric Power Engineering, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical university of Košice, Slovak Republic

<sup>1</sup>michal.ivancak@tuke.sk, <sup>2</sup>juraj.kurimsky@tuke.sk

**Abstract** — The micro grid or the lower level smart grid is in these days very popular topic. In order to verify the reliability and safety of the grid operation, it is necessary to model the anticipated states. Based on these findings, it is then possible to ascertain the effectiveness and reliability of the future network. In the microgrid model are used a diesel generator, a wind farm, a photovoltaic farm as a source of production and on the other side, a source of consumption is a simulation of a smaller village and an electric car charger.

**Keywords** — smart grid, microgrid, renewable energy source, electric car charging.

## I. INTRODUCTION

In these years "Smart" is as a very often mentioned term. It usually refers to special products with an increasing degree of computing power and intelligence. We know smart products such as smart phone, smart TV or other smart electronics with a variety of features and applications. Electrical energy is currently a strategic "raw material" and its importance in the future years is clearly growing. For this reason, increasing emphasis is placed on the stability, safety and security of the electricity supply to end customers. Therefore, the computerization is increasingly being introduced into the electricity system during the time. Very popular is also the new term "Smart Grid".

The many of projects, articles and publications focus on theme of Smart Grid, as well as foreign and domestic conferences. Despite the great popularity, there is a wide inconsistency in the definition of this term. Nevertheless, Smart Grid is often referred also to as the network capable of using more renewable energy sources and distributed production than the current network.

Comprehension of the current Smart Grid network is rather difficult and from costs perspective expensive. It is a long-term process that binds capital over many years. Therefore, it requires a strong commitment from all stakeholders. In addition, it is still not fully verified how the individual technologies within Smart Grid will work together.

## II. IMPLEMENTATION OF THE SMART GRID

Smart Grid networks have the following features and benefits over classic networks. The biggest difference is the different network topology due to the inclusion of distributed production that causes different energy flow directions. The change is also thanks to the new technologies, two-way communication and the presence of active elements and sensors throughout the system, self-monitoring as well as rapid detection and localization of failures.

Thanks to new technologies, higher reliability, better security, greater convenience for customers and higher efficiency in the use of electricity are expected. Intelligent systems also envisage semi-automatic renewal and auto-regeneration as well as adaptive protection and isolation of a potential problem. Customers are thus provided with the integration and provision of new services. From the distribution point of view, it is the use of centralized resources along with decentralized resources.

Decentralized sources of small capacities deployed across Europe are in line with the European Union's commitment and commitment to increase its share of renewable energy production to 20% by 2020. There is expected reducing system losses and the associated increase in ecology, economy and operational efficiency as well as support for scattered production along with the development and research of new management methods results.



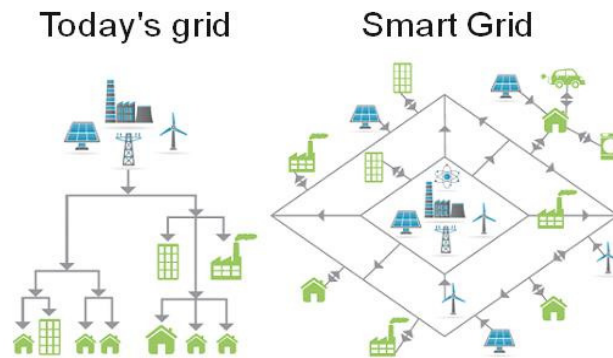


Fig. 1 Comparison of today's grid and the smart grid.

### III. MODELLING MICROGRID

Modelling and using of modelling software are a very good method for making designs thanks to computer calculating performance, especially taking in account complexity of the environment. Of course, in the background of every software there is a set of mathematical formulas that we can use to make modifications more efficiently while changing a constant. So, it is not necessary to repeat the entire calculation.

The necessary part of creating an electrical network is adequate preparation which is needed to ensure that the network's functionality is properly verified to avoid unnecessary investment costs. Without suitable training it would not even be possible. At the same time, the software tools create the right conditions for laboratory testing as well as back-up verification of the functionality of the already implemented project. The basis of the modelling must be precise as possible in order to ensure the accuracy of the results is also close as possible to the reality.

Simulink is a MATLAB extension for simulation and modelling of dynamic systems. It provides the user with the ability to quickly and easily create dynamic system models in the form of block diagrams. Models can be described by equations or can be assembled from blocks representing real system elements. Besides models of physical systems, it is possible to model also control system algorithms including their automatic tuning, signal processing systems, communication and image processing.

The microgrid is divided into four important parts: A diesel generator (15MW), acting as the base power generator; A PV farm (8 MW) combined with a wind farm (4,5 MW), to produce renewable energy; a vehicle to grid system installed next to the last part of the topology which is the load (10 MW) of the grid. The size of the microgrid represents approximately a community of a thousand households during a low consumption day in spring or fall. There are 100 electric vehicles in the base model which means that there is a 1:10 ratio between the cars and the households. This is a possible scenario in a foreseeable future.

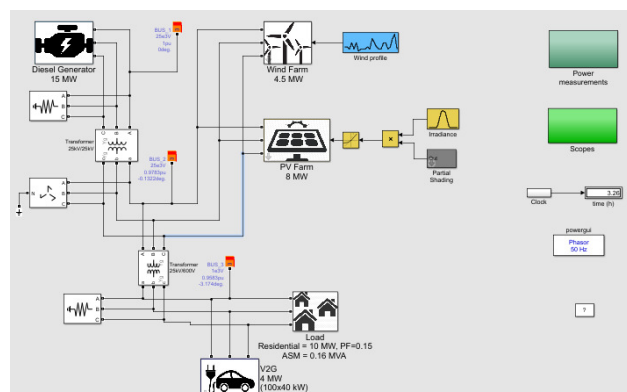


Fig. 2 Model of micro grid in Matlab - Simulink

The diesel generator balances the power consumed and the power produced. We can determine the frequency deviation of the grid by looking at the rotor speed of its synchronous machine.

The load consists of a residential load and an asynchronous machine that is used to express the impact of an industrial inductive load (such as a ventilation system) on a microgrid. Residential load monitors the consumption profile with a given power factor. The asynchronous machine is controlled by a square relationship between rotor speed and mechanical torque.

The photovoltaic power plant produces three energy factors: the size of the area covered by the photovoltaic power plant, the efficiency of solar panels and irradiation data. The simplified model of a wind farm produces electricity after a linear relationship with the wind. When the wind reaches the nominal value, the wind farm produces nominal power. The wind power plant emerges from the grid when the wind speed exceeds the maximum wind speed until the wind returns to its nominal value.

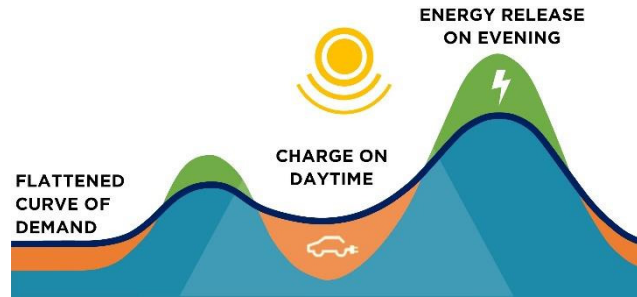


Fig. 3 Optimal plan of charging EV [15]

The V2G has two functions: Controls the charge of the batteries connected to it and uses the available power to regulate the grid when an event occurs during the day. With an increased number of electric vehicles, there will be a situation that can significantly affect the daily load diagram of the power grid. From this point of view, there are several EV charging scenarios. These scenarios consider target variables such as the car owner's working time as well as whether they have the option to recharge their e-car at work or not. The block implements five different car-user profiles:

- Profile #1: People going to work with a possibility to charge their car at work.
- Profile #2: People going to work with no possibility to charge their car at work.
- Profile #3: People going to work with a possibility to charge their car at work but with a longer ride
- Profile #4: People staying at home.
- Profile #5: People working on a night shift.

The diagram below shows the graphs of charging the car. The graphs are only approximate, but better illustrate the flow of energy in car batteries.

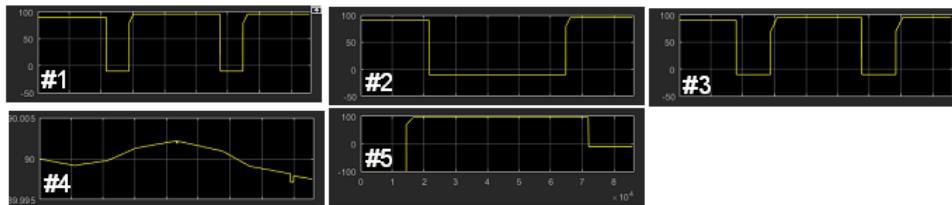


Fig. 4 Comparison of the apparent and active power of a photovoltaic power plant, a wind power plant and a diesel generator.

Run the model and observe the various range signals inside of it. It is possible to monitor rotor speed behaviour in the range above the model.

Click on the Scopes and Power measurements subsystem to access information from different nodes. The charging status of each vehicle profile is also available in this subsystem. Negative charge state means the car is on the road or not connected.

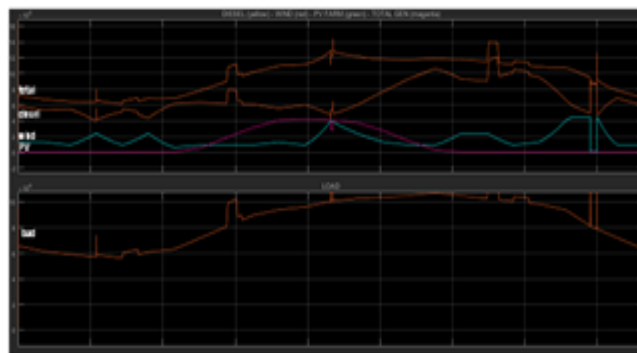


Fig. 4 Processes of production performance (upper graph) and consumption (lower graph)

Simulation takes 24 hours. The intensity of sunlight is controlled by the normal distribution where the highest intensity is reached at noon. In figure it has magenta colour. The wind (blue) changes significantly during the day and has several peaks and minima. Diesel generator (red) holds frequency and naturally regulates electricity generation. Residential load has a typical formula similar to normal household consumption. It is low during the day, increases to the peak during the evening and decreases slowly at night. Three events affect network frequency during the day:

- the start of the asynchronous machine in the third hour
- a partial cloudiness at midday affecting the production of solar energy
- a wind farms cut off in 22 hours when the wind exceeds the permitted maximum permitted wind energy.

#### IV. CONCLUSION

This paper describes a simulation that includes power sources like diesel generator, a photovoltaic and wind power plant, electricity consumption and a model of electric vehicle charging as reserve electricity in case of network drops or surpluses. The system also includes unpredictable sources that in combination with the diesel generator and the electric car system keep the network running.

Because of the model is the off-grid system it is not connected to a larger system, it depends on the reliable operation of the largest source. The base is a diesel generator that is not dependent on wind and solar power but provides the maximum space for energy from renewable energy sources. Several measurements have been performed within the model, demonstrating the functionality of the model and its stability under the given conditions. On a given model, it would still be appropriate to monitor the quality of electrical energy, especially the frequency, since large frequency fluctuations have an undue influence on the functionality of the elements in the network.

The theme of microsite and smart grid modeling is highly up to date due to the speed of this time. Electricity plays a significant role in society, and a small one is aware of its daily needs. Model testing improves network reliability and reduces downtime.

#### ACKNOWLEDGMENT

Research described in the paper 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 1/0372/18.

#### REFERENCES

- [1] F. P. Sioshansi et al., *Smart Grid: Integrating Renewable, Distributed & Efficient Energy*, 510 (Academic Press, 2011)
- [2] V. Volčko, *Smart Grid: Vplyv na prevádzku, bezpečnosť a stabilitu elektrizačnej sústavy*, (2015), <[http://www.fei.stuba.sk/docs/2015/autoreferaty/Volcko\\_autoref.pdf](http://www.fei.stuba.sk/docs/2015/autoreferaty/Volcko_autoref.pdf)>
- [3] S. Borlase, *Smart Grids: Infrastructure, Technology and Solutions*, 577, (CRC, 2013)
- [4] J. Momoh, *Smart Grid: Fundamentals of Design and Analysis*, 216, (IEEE P., 2012)
- [5] M. Shamshiri, C. K. Gan, a C. W. Tan, "A review of recent development in smart grid and micro-grid laboratories", v 2012 IEEE International Power Engineering and Optimization Conference Melaka, Malaysia, 2012, s. 367–372.
- [6] N. Nikmehr a S. N. Ravadanegh, "Optimal Power Dispatch of Multi-Microgrids at Future Smart Distribution Grids", *IEEE Transactions on Smart Grid*, roč. 6, č. 4, s. 1648–1657, júl. 2015.
- [7] K. Zhou, S. Yang, a C. Shen, "A review of electric load classification in smart grid environment", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, roč. 24, s. 103–110, aug. 2013.
- [8] G. Lobaccaro, S. Carlucci, a E. Löfström, "A Review of Systems and Technologies for Smart Homes and Smart Grids", *Energies*, roč. 9, č. 5, s. 348, máj. 2016.
- [9] N. Nikmehr a S. N. Ravadanegh, "Optimal Power Dispatch of Multi-Microgrids at Future Smart Distribution Grids", *IEEE Transactions on Smart Grid*, roč. 6, č. 4, s. 1648–1657, júl. 2015.
- [10] K. Moslehi a R. Kumar, "A Reliability Perspective of the Smart Grid", *IEEE Transactions on Smart Grid*, roč. 1, č. 1, s. 57–64, jún. 2010.
- [11] H. Yang, J. Zhang, J. Qiu, S. Zhang, M. Lai, a Z. Y. Dong, "A Practical Pricing Approach to Smart Grid Demand Response Based on Load Classification", *IEEE Transactions on Smart Grid*, roč. 9, č. 1, s. 179–190, jan. 2018.
- [12] A. Molderink, V. Bakker, M. G. C. Bosman, J. L. Hurink, a G. J. M. Smit, "Management and Control of Domestic Smart Grid Technology", *IEEE Transactions on Smart Grid*, roč. 1, č. 2, s. 109–119, sep. 2010.
- [13] M. Hashmi, S. Hänninen, a K. Mäki, "Survey of smart grid concepts, architectures, and technological demonstrations worldwide", v 2011 IEEE PES CONFERENCE ON INNOVATIVE SMART GRID TECHNOLOGIES LATIN AMERICA (ISGT LA), 2011, s. 1–7.
- [14] Mathworks, Documentation of using Matlab, <https://www.mathworks.com/>
- [15] The solution to sustainable urban mobility and energy; Office AEL. Online: <http://www.amsterdamvehicle2grid.nl/>

# Šifrované úložisko na báze YOCTO Linuxu a Raspberry Pi

<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** – Článok opisuje vytvorenie stabilného sieťového úložiska s využitím šifrovaného prenosu a šifrovania dát. Sieťové úložisko využíva mikropočítač Raspberry Pi, ktorý sa vyznačuje nízkou spotrebou. Ako operačný systém bol zvolený YOCTO Linux, ktorý umožňuje zostavenie vstavaných komponentov podľa potreby. YOCTO Linux slúži pre vstavané zariadenia kde sa kladie dôraz na vysokú stabilitu a nízke systémové nároky. Pri prenose súborov je možné využiť šifrovaný prenos. Proces šifrovania je možné implementovať do mikropočítača Raspberry Pi priamo s využitím blokového šifrovania. Pre blokové šifrovanie bol využitý program LUKS a dm-crypt. Medzi ďalšiu metódu patrí možnosť šifrovať dáta už na strane klienta a následné preniesť zašifrované dáta na úložisko.

**Kľúčové slová:** – Sieťové úložisko, RAID, Šifrovanie, RSA

## I. ÚVOD

Cieľom článku bolo vytvoriť nízko energetickú platformu pripojenú do siete internet určenú na ukladanie dát. Táto platforma nedisponuje vysokým výkonom v zápise a v čítaní, avšak ma byť vysoko dostupná a zabezpečená voči odcudzeniu dát [1]. Pri tvorbe zabezpečeného sieťového disku bol zvolený mikropočítač Raspberri Pi 3 [2], ktorý v základnej výbave obsahuje 4 USB porty, sieťový adaptér. Mikropočítač tvorí štvorjadrový procesor ARMv7 [3] o frekvencii 1.2 GHz, a 1 GB pamäte RAM. Mikropočítač obsahuje MicroSD kartu, na ktorej je možné nainštalovať operačný systém. Výhodou tohto mikropočítača je široká podpora operačného systému Linux, konkrétne podpora systému YOCTO Linux verzie POKY [4]. Pri použití tohto operačného systému je možné veľkosť obrazu zmenšiť až na 180 MB aj s 25 MB rezervou pre správny chod operačného systému a nutné nastavenia [1].

## II. SPOTREBA SIEŤOVÉHO DISKU

Pri tvorbe sieťového disku je potrebné dbať aj na jeho spotrebu, keďže sa jedná o zariadenie, ktoré má bežať nepretržite. Pre zníženie spotreby boli na mikropočítači Raspberry Pi vypnuté všetky nepotrebné periférie, ako je zvuková karta, WIFI karta. Tieto periférie pre správny chod sieťového úložiska nie sú potrebné. Ako úložné médium boli zvolené USB kľúče, ktorých spotreba nie je vysoká.

Tabuľka 1  
Prehľad spotreby Raspberry Pi s YOCTO Linux

| RPI           | Spotreba v nečinnosti | Spotreba pri zápise |
|---------------|-----------------------|---------------------|
| Bez USB média | 0.18 A                | -                   |
| 1 USB médium  | 0.22 A                | 0.32 A              |
| 2 USB média   | 0.25 A                | 0.35 A              |
| 3 USB média   | 0.30 A                | 0.40 A              |
| 4 USB média   | 0.34 A                | 0.44 A              |

Z tabuľky 1 vyplýva, že spotreba mikropočítača Raspberry Pi so 4 USB médiami je iba 1.8W. Spotrebu najviac ovplyvní zvolený napájací zdroj, ktorý by nemal mať vysokú stratu. Pri zvolení iného operačného systému ako Raspbian Stretch, na ktorom sú zapnuté periférie, ktoré nie sú využívané, vzrastie spotreba naprázdno na 0.32 A. Táto zvýšená spotreba zariadenia v stave naprázdno zapríčiní aj zvýšenie spotreby v záťaži. Pri meraní boli využité USB kľúče Kingston o kapacite 32 GB. V Tab. 2 je znázornená spotreba mikropočítača s použitím operačného systému Raspbian. Je vidieť, že spotreba je vyššia oproti zostaveniu využívajúceho YOCTO Linux.

Tabuľka 2  
Prehľad spotreby Raspberry Pi s Raspbian Stretch Linux

| RPI           | Spotreba v nečinnosti | Spotreba pri zápise |
|---------------|-----------------------|---------------------|
| Bez USB média | 0.32 A                | -                   |
| 4 USB média   | 0.45 A                | 0.6 A               |

### III. ŠIFROVANÉ V OPERAČNOM SYSTÉME YOCTO LINUX

Pri tvorbe šifrovaného diskového úložiska je možné šifrovať dáta na úložisku dvoma spôsobmi:

- Šifrovanie na externom disku – ide o druh šifrovania, kde mikropočítač Raspberry Pi sa stará o zašifrovanie nahraných dát.
- Šifrovanie na strane klienta – ide o druh šifrovania, kde užívateľ šifruje dáta u seba a následne nahráva na vzdialené úložisko už zašifrované dáta.

Pre šifrovanie v prostredí YOCTO Linux sú dostupné rôzne riešenia, ktoré sú súčasťou samotného jadra operačného systému. Šifrovanie môžeme rozdeliť na dva druhy a to:

- Blokové šifrovanie – ide o šifrovanie, ktoré šifruje celý obsah disku, kde disk je braný ako blok dát. Je možné šifrovať RAID (Redundant Array of Independent Disks) diskové pole, DRBD (Distributed Replicated Block Device) diskové pole prípadne LVM (Logical Volume Manager) diskové pole. Druhy blokových šifrovaní dostupných pre YOCTO Linux:
  - Loop-AES – ide o najstaršie riešenie, ktoré slúži na šifrovanie už v starších systémoch. Jeho výhodou je rýchlosť šifrovania, kde je možné šifrovať disky, súborové systémy, USB disky. Toto šifrovanie je pri terajšom použití už prekonané.
  - dm-crypt + LUKS – ide o šifrovanie, ktoré využíva knižnicu kernelu operačného systému YOCTO Crypto API. Pomocou tejto knižnice dochádza k šifrovaniu v jadre operačného systému a o správu kľúčov sa stará modul LUKS. Modul LUKS podporuje šifrovanie blokovo s využitím týchto šifrovacích algoritmov: aes-cbc[5], serpent-cbc [6], twofish-cbc [7], aes-xts[5], serpent-xts [6], twofish-xts [7].
- súborové šifrovanie - ide o šifrovanie samostatných súborov a priečinkov v rámci operačného systému. Toto šifrovanie neumožňuje zavedenie operačného systému zo šifrovaného disku. Aplikácie umožňujúce šifrovanie a prenos na vzdialený disk:
  - Rclone kde aktuálna verzia je 1.47 – aplikácia slúži na prenos medzi klientom a vzdialeným úložiskom prípadne CLOUD úložiskom. Prenos je možný cez protokol SSH taktiež je možné súbory šifrovať pomocou algoritmov XSalsa20 [8] alebo Poly1305 [9].
  - WinSCP od verzie 5.15 – aplikácia slúži na prenos dát medzi klientom a tiež vzdialeným úložiskom s využitím protokolu SSH. Prenášané súbory je možné šifrovať s využitím algoritmu AES-256 CTR.

### IV. IMPLEMENTÁCIA BLOKOVÉHO ŠIFROVANIA

V operačnom systéme YOCTO sa na šifrovanie blokových úložísk využíva časť kernelu, konkrétne Crypto API. Táto knižnica obsahuje funkcie pomocou ktorých dochádza k šifrovaniu. O správu kľúčov sa stará aplikácia LUKS. Šifrovanie prebieha v operačnom systéme bez zásahu užívateľa. Všetky údaje presunuté na vzdialené úložisko sa automaticky uložia v šifrovanej podobe. Pripojenie tohto úložiska je možné len so znalosťou kľúča, ktorým sú dáta šifrované. Pre vytváranie šifrovaného oddielu sa využíva aplikácia „cryptsetup“. Pomocou tejto aplikácie je možné zistiť aké dostupné šifrovanie je povolené, takisto spustí aj test rýchlosti šifrovania a dešifrovania na danom zariadení.

```

root@raspberrypi3:/# cryptsetup benchmark
PBKDF2-sha1          58514 iterations per second for 256-bit key
PBKDF2-sha256       104025 iterations per second for 256-bit key
PBKDF2-sha512       70468 iterations per second for 256-bit key
PBKDF2-ripemd160    52012 iterations per second for 256-bit key
PBKDF2-whirlpool    11417 iterations per second for 256-bit key
# Algorithm | Key | Encryption | Decryption
aes-cbc     128b   13.2 MiB/s  14.3 MiB/s
aes-cbc     256b   10.4 MiB/s  11.0 MiB/s
aes-xts     256b   14.0 MiB/s  13.9 MiB/s
aes-xts     512b   11.0 MiB/s  10.8 MiB/s

```

Vo výpise je znázornený test šifrovania, kde sa zapisujú a čítajú dáta z pamäte RAM. Pri tomto teste sa neberie do úvahy výkon diskového úložiska, takže ide o maximálnu hodnotu rýchlosti šifrovania a dešifrovania, ktorú dokáže vykonať procesor. Z daného testu vyplýva, že je optimálne

využiť šifrovanie „AES“ s módom „XTS“ prípadne mód „CBC“. Keďže pri použití mikropočítača Raspberry Pi je rýchlosť USB úložiska limitovaná na 10 MB/s, tak je možné použiť akékoľvek z testovaných šifrovaní.

Vytvorenie šifrovaného oddielu je možné vykonať aj na diskovom poli RAID. Pre vytvorenie tohto oddielu je potrebné zadať príkaz:

```
cryptsetup --type luks2 --cipher aes-xts-plain64 --key-size 512
--hash sha512 --use-urandom --key-file /my.key luksFormat /dev/md0p1
```

- type Výber módu šifrovania. Je možné vybrať:
  - luks – možnosť nastaví predvolený LUKS operačného systému.
  - luks1 – možnosť nastaví šifrovanie LUKS1. Ide o staršiu verziu.
  - luks2 – možnosť nastaví šifrovanie LUKS2. Ide o novšiu verziu šifrovania.
  - plain – využitie dm-crypt šifrovania. Pre dosiahnutie sily šifrovania vyžaduje vytvoríť heslo s vysokou entropiou.
  - tcrypt – využije podpory šifrovania TrueCrypt [10]. Tento druh šifrovania umožňuje prenos média na iný operačný systém s podporou TrueCrypt.
- cipher - výber šifrovania. V operačnom systéme YOCTO je možné zvoliť šifrovanie AES s rôznymi módami ako sú „XTS“ [11], „CBC“ [12].
- key-size – výber veľkosti kľúča.
- hash – výber hash funkcie.
- use-urandom – definovanie zdroja odkiaľ sa má čerpať entropia. Generátor entropie môže byť zadávaním kláves prípadne použitím urandom funkcie kernelu. Táto možnosť zvolí ako generátor entropie funkciu kernelu urandom.
- key-file – definovanie plnej cesty ku kľúču, ktorým chceme zašifrovať cieľový disk. Generovanie kľúča je možné vykonať zadaním príkazu:

```
dd bs=512 count=4 if=/dev/random of=/my.key
```

Týmto príkazom dôjde k vytvoreniu náhodného prístupového kľúča pomocou funkcie urandom.

- /dev/md0p1 - Nastavenie diskového úložiska, ktorý sa ma zašifrovať. Zašifrovanie disku spôsobí zmazanie terajších dát.

Po vytvorení šifrovaného oddielu je možné nastavenie zobrazíť zadaním príkazu „cryptsetup luksDump /dev/md0p1“. Tento príkaz zobrazí informácie o vytvorenom šifrovaní a takisto aj použité sloty s kľúčmi. LUKS podporuje použitie 8 slotov s kľúčmi. Tieto sloty umožňujú odomknúť tento oddiel pomocou 8 nezávislých kľúčov. Pri vytváraní šifrovaného oddielu sa automaticky používa kľúč zo slotu 0.

```
root@raspberrypi3:/# cryptsetup luksDump /dev/md0p1
LUKS header information for /dev/md0p1
Version:          1
Cipher name:      aes
Cipher mode:      xts-plain64
Hash spec:        sha512
Payload offset:   7164
MK bits:          512
MK digest:        b1 cd 97 04 8f ba e8 43 7c 44 fa 78 33 81 60 90 a5
MK salt:          7d e4 9d 4b 2d 48 e7 6a 19 30 57 27 cc e2 5e a3
                  0e 4d 9d 2b 8e 20 6a a6 d1 48 27 30 e8 35 54 b1
MK iterations:    16750
UUID:             092a9f7d-484e-4466-b783-f4ee2982c606
Key Slot 0: ENABLED
Iterations:       134736
Salt:             b2 9e 58 19 2e 46 4c 02 e2 07 d2 05 c8 b8 7f
                  70 a2 2e 71 27 7b 87 bd 10 27 ca 15 ec 6d 3a
Key material offset: 8
AF stripes:       4000
Key Slot 1: DISABLED
Key Slot 2: DISABLED
```

Vytvorený šifrovaný objekt je potrebné pripojiť do operačného systému. Pripojenie sa vykoná zadaním príkazu:

```
cryptsetup luksOpen /dev/md0p1 disk --key-file /my.key
```

Pre správne vytvorenie je potrebné zadať aj kľúč pre dešifrovanie. Po správnom dešifrovaní dôjde k pripojeniu tohto úložiska ako nový disk s názvom „/dev/mapper/disk“. Pre tento nový disk je potrebné následne vytvoriť súborový systém a ten pripojiť do operačného systému. Po pripojení je možné zapisovať údaje na tento disk, pričom dáta budú uložené na médium v šifrovanej podobe. Pre odpojenie diskového poľa je potrebné zadať príkaz:

```
cryptsetup luksClose disk
```

Týmto príkazom dôjde k zrušeniu pripojenia vytvoreného disku. Ak je disk odpojený, nie je možné z pamäťového média načítať dáta, keďže sú v šifrovanej podobe.

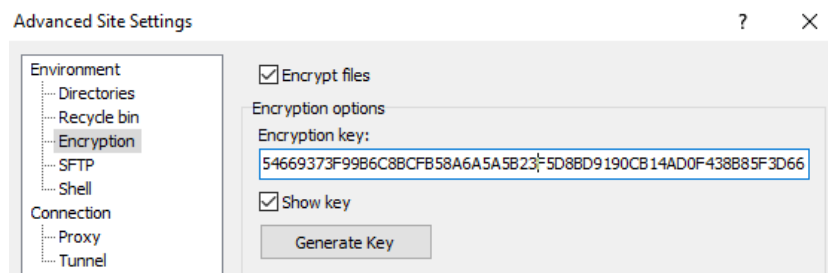
## V. IMPLEMENTÁCIA SÚBOROVÉHO ŠIFROVANIA

Pri použití súborového šifrovania dochádza k šifrovaniu každého súboru samostatne. Tento druh šifrovania umožňuje použiť od verzie WinSCP 5.15 [13] prípadne Rclone 1.47 [14]. Zvolené aplikácie využívajú proces šifrovania súborov už na strane klienta a následne dochádza k prenosu už šifrovaných dát. Okrem šifrovania dát dochádza aj k šifrovaniu názvov súborov a adresárov samostatne.

Tabuľka 3  
Prehľad metód šifrovania WinSCP 5.15/Rclone 1.47

|        | Šifrovanie dát              | Šifrovanie názvov            |
|--------|-----------------------------|------------------------------|
| WinSCP | AES-256 CTR [5]             | AES-256 CTR Base64 [15]      |
| Rclone | XSalsa20 [8] / Poly1305 [9] | AES with 256 bit Base32 [15] |

Pri použití oboch aplikácií na prenos súborov dochádza k procesu šifrovania na strane klienta. Šifrovací algoritmus AES využíva o blokovú šifru, pričom šifrovací algoritmus XSalsa20 využíva prúdovú šifru. Tento proces šifrovania zaručuje, že sa na vzdialené úložisko neprenášajú žiadne šifrovacie kľúče.



Obr. 1 Nastavenie šifrovania WinSCP

Na Obr. 1 je znázornená možnosť zapnutia šifrovania v programe WinSCP. Zapnutie šifrovania spočíva vo vytvorení šifrovacieho kľúča prípadne vygenerovanie kľúča v aplikácii WinSCP, pomocou ktorého dôjde ku šifrovaniu. Kľúč je potrebné vytvoriť v hexadecimálnom tvare o veľkosti aspoň 32 bajtov čo je 64 znakov. Po pripojení na sieťové úložisko dochádza k automatickému šifrovaniu súborov. Ak sa na úložisko pripojíme bez tejto možnosti, dochádza k nahrávaniu dát v nešifrovanej podobe. Šifrovací kľúč sa v operačnom systéme uloží v registroch systému:

```
[HKEY_CURRENT_USER\Software\Martin Prikryl\WinSCP 2\Sessions\
```

V tomto registri sú uložené všetky prihlasovacie údaje v šifrovanej podobe. Kľúč ktorým dochádza ku šifrovaniu sa nachádza v premennej „EncryptKey“.

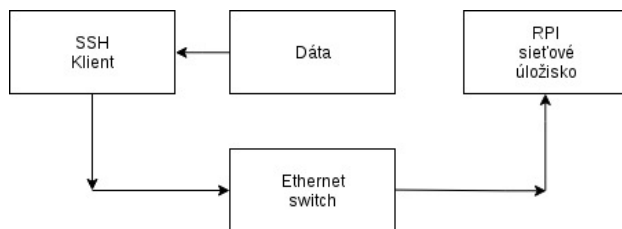
```
Príklad takéhoto kľúča v registri:  
A35C115C2E33332831343D2F353272392919651A64691A1F641E196B1D6F  
1A6A6B6F1F1A6D6D6A691D6D686D196E6B6A1F696E1F6E6A6B6E651F641F  
1E1D1D1E1A646B1968646C6F6E1A1E6D64196E6C65
```

S využitím aplikácie Rclone je možné dáta nahrávať použitím príkazov z konzoly operačného systému. Program podporuje nahrávanie súborov na CLOUD úložiska ako sú drobox [16], Onedrive [17], Amazon AWS [18] a iné. Pre ďalšie nahratie je možné využiť šifrovaný prenos pomocou protokolu SSH. Pre pripojenie na SSH server je potrebné využiť overenie užívateľa pomocou súkromného kľúča. Tento proces overenia je bezpečnejší ako zadávanie hesla. Pre spustenie nastavenia programu Rclone je potrebné spustiť príkaz „rclone config“.



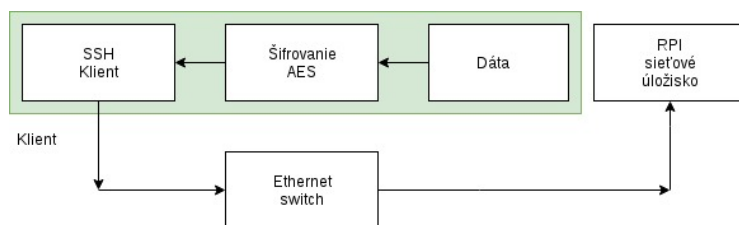
## VI. EXPERIMENT S PRENOSOM SÚBOROV CEZ WINSCP

Pri prenose súborov na vzdialené úložisko je možné využiť dva postupy. Prvý postup je prenos údajov na vzdialené úložisko v nešifrovanej podobe. Pri tomto postupe klient WinSCP nešifruje prenášané dáta. Dáta sa následne spracovávajú na mikropočítači Raspberry Pi, kde je ich možné zašifrovať blokovo.



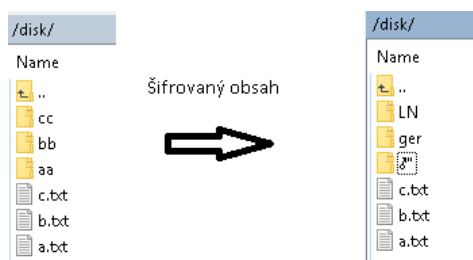
Obr. 2 Prenos súborov na vzdialené úložisko bez šifrovania

Na Obr. 2 je znázornená bloková schéma prenosu dát na vzdialené úložisko. Prenos dát sa vykonáva po sieťovej infraštruktúre. Užívateľ nahrá zdrojové dáta s využitím šifrovaného prenosu kde ich preniesie na vzdialené úložisko. Dáta sa následne uložia v nešifrovanej podobe na sieťové úložisko.



Obr. 3 Prenos súborov na vzdialené úložisko so šifrovaním

Na Obr. 3 je znázornená bloková schéma prenosu údajov na vzdialené úložisko s využitím šifrovania. Proces šifrovania prebieha na strane klienta pomocou algoritmu AES-256 CTR. Na samotný vzdialený disk sa potom prenášajú dáta už v šifrovanej podobe.



Obr. 4 Reprézntácia súborov so zadaním správneho šifrovacieho kľúča a bez sadania správneho šifrovacieho kľúča

Na Obr. 4 sú znázornené prenesené súbory na vzdialené úložisko s podporou šifrovania. Používateľ so správne zadaním kľúčom vidi tieto dáta (ľavá časť obrázku) v čitateľnej podobe. Šifrovanie v tomto programe indikuje žltá kladka pri každom súbore.

Pravá časť Obr. 4 reprezentuje obsah zašifrovaného priečinku po zadaní nesprávneho šifrovacieho kľúča. Je vidno, že došlo aj k šifrovaniu názvu súboru. Obsah súboru, je tiež šifrovaný a bez znalosti šifrovacieho kľúča nie je viditeľný.

## VII. ZÁVER

Cieľom tohto článku bolo vytvoriť nízko-energetický sieťový disk, ktorý zahŕňa šifrovaný prenos a aj metódy šifrovania dát na tomto disku. Pre stavbu disku bol využitý mikropočítač Raspberry Pi 3, ktorý disponuje výkonným ARM procesorom. Prenosová rýchlosť týchto zariadení je limitovaná verziou použitého portu USB 2.0, čo v testoch dosahuje pri práci s RAID 10 MB/s. Taktiež ide aj o rovnaké rýchlostne obmedzenie sieťovej karty. Pre vyriešenie tohto obmedzenia

je vhodné zvoliť iný typ mikropočítača, ktorý okrem USB 2.0 portov obsahuje aj USB 3.0 port, ktorý je rýchlejší. Šifrovanie dát na sieťovom disku je možné vykonať dvoma postupmi. Prvý postup je zavedenie blokového šifrovania na sieťovom disku pomocou časti kernelu dm-crypt s využitím LUKS. Tento spôsob šifrovania zabezpečí priame šifrovanie diskového oddielu so všetkými súbormi, ktoré sa naňho nahrávajú. Počas procesu nahrávania dát je možné v systéme tieto dáta vidieť v nešifrovanej podobe. Výhodou tohto druhu šifrovania je šifrovať dáta prenášané na úložisko bez toho, aby bolo potrebné na strane klienta inštalovať špeciálneho SSH klienta. Druhý spôsob šifrovania je vyžitie SSH klienta, ktorý pri procese prenosu dát šifruje všetky súbory. Šifrovanie prebieha na strane klienta, kde na vzdialené úložisko sa neprenášajú žiadne šifrovacie kľúče. Táto metóda je oproti prvej bezpečnejšia keďže útočník nevie získať z úložiska bez znalosti kľúča žiadne dáta. Na vytvorenie tohto procesu šifrovania boli použité aplikácie WinSCP a Rclone. Výhodou využitia aplikácie WinSCP je možnosť dáta nahrávať na sieťový disk s využitím grafického prostredia.

#### LITERATÚRA

- [1] M. Hasin, "Zabezpečený sieťový disk na báze Yocto Linuxu, Diplomová práca, Technická univerzita v Košiciach," pp. 1–122, 2019.
- [2] "Raspberry pi 3 home page." [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/>
- [3] D. Seal, *ARM Architecture Reference Manual*, 2nd ed. Addison-Wesley Professional, 2001. [Online]. Available: <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=6A7789D9ADAF98C5D0D3DFA2B3C0FF7F>
- [4] "Yocto linux." [Online]. Available: <https://www.yoctoproject.org/>
- [5] H. Dobbertin, *Advanced Encryption Standard – AES: 4th International Conference, AES 2004, Bonn, Germany, May 10-12, 2004, Revised Selected and Invited Papers*, 1st ed., ser. Lecture Notes in Computer Science 3373 : Security and Cryptology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005. [Online]. Available: <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=C32A2D5E598C2858F6C68FCD8BAA155>
- [6] E. B. Ross Anderson, "The Case for Serpent," pp. 1–5, 2000. [Online]. Available: <https://www.cl.cam.ac.uk/~rja14/Papers/serpentcase.pdf>
- [7] J. K. B. Schneier, *The Twofish Encryption Algorithm: A 128-Bit Block Cipher*, 1st ed., 1999. [Online]. Available: <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=91ED713B3D8D56B9A5BD868FD6A6411F>
- [8] D. J. Bernstein, "Extending the Salsa20 nonce," pp. 1–14, 2012. [Online]. Available: <https://cr.yp.to/snuffle/xsalsa-20081128.pdf>
- [9] —, "ThePoly1305-AESmessage-authenticationcode," pp. 1–17. [Online]. Available: <https://cr.yp.to/mac/poly1305-20050113.pdf>
- [10] "TrueCrypt FREE OPEN-SOURCE ENCRYPTION," pp. 1–150, 2012. [Online]. Available: <https://www.grc.com/misc/truecrypt/TrueCrypt%20User%20Guide.pdf>
- [11] N. T. Anh and N. B. Cuong, "Evaluating the indistinguishability of the XTS mode in the proposed security model," pp. 1–11, 2018. [Online]. Available: <https://eprint.iacr.org/2018/124.pdf>
- [12] M. Bellare, Joe Kilian, and P. Rogaway, "The Security of the Cipher Block Chaining Message Authentication Code," pp. 1–36, 2001. [Online]. Available: <https://cseweb.ucsd.edu/~mihir/papers/cbc.pdf>
- [13] Používateľský manuál winscp. [Online]. Available: <https://winscp.net/eng/download.php>
- [14] Rclone Download v1.47.0. [Online]. Available: <https://downloads.rclone.org/v1.47.0/rclone-v1.47.0-windows-amd64.zip>
- [15] S. Josefsson, "The Base16, Base32, and Base64 Data Encodings," pp. 1–22, 2006. [Online]. Available: <https://greenbytes.de/tech/webdav/rfc4648.pdf>
- [16] Cloud service dropbox. [Online]. Available: <https://www.dropbox.com>
- [17] Cloud service onedrive. [Online]. Available: <https://onedrive.live.com>
- [18] Cloud service amazon AWS. [Online]. Available: <https://aws.amazon.com>

# System pre analýzu algoritmov

<sup>1</sup>Lukáš TOKARČÍK, <sup>2</sup>Slavomír ŠIMOŇÁK

Katedra Počítačov a Informatiky, Fakulta Elektrotechniky a informatiky, Technická  
Univerzita v Košiciach, Slovenská Republika

<sup>1</sup>lukas.tokarcik@student.tuke.sk, <sup>2</sup>slavomir.simonak@tuke.sk

**Abstrakt** — V tomto článku sa venujeme systémom pre analýzu algoritmov. Zhodnotíme súčasný stav existujúcich systémov pre analýzu algoritmov a tiež sa budeme venovať aj opisu vlastného systému na analýzu algoritmov – ALGtester. Systém ALGtester využíva špeciálny virtuálny stroj Java – JamVM a komunikačnú knižnicu – Vmep, ktorá zabezpečuje komunikáciu s virtuálnym strojom JamVM a možnosť získať štatistické údaje o vykonávaní algoritmov – predovšetkým štatistiku o vykonávaní konkrétnych Java bytecode inštrukcií počas behu programu. Systém meria počet vykonaných bytecode inštrukcií pre jednotlivé algoritmy pri dátových vstupoch rôznej veľkosti a umožňuje zároveň dátové vstupy aj generovať v prípade polí celých čísel, ktoré je možné využiť najmä pri testovaní efektívnosti algoritmov zameraných na triedenie celočíselných prvkov. Systém ALGtester vie zobrazit' štatistické výsledky o vykonávaní algoritmov v tabuľkách, pričom je možné zobrazit' jednotlivé inštrukcie pre konkrétny algoritmus pri konkrétnom dátovom vstupe alebo je možné zobrazit' súhrnný počet inštrukcií pre konkrétny dátový vstup s porovnaním jednotlivých algoritmov alebo aj súhrnný počet inštrukcií pre konkrétny algoritmus s porovnaním jednotlivých dátových vstupov rôznej veľkosti.

**Kľúčové slová** — JamVM, VMep, algoritmy, analýza algoritmov, Java, optimalizácia, Java bytecode

## I. ÚVOD

Vhodnosť použitia konkrétnych algoritmov má v informatike veľký význam, pretože okrem optimalizácie zdrojového kódu zapísaného v programovacom jazyku a optimalizácie strojového kódu, ktorý je výsledkom prekladu z vyššieho programovacieho jazyka pomocou prekladača je jednou z možností, ako zabezpečiť vykonávanie programu čo najefektívnejšie či už vzhľadom na časové trvanie vykonávania programu alebo pamäťové nároky. Pri výbere vhodného algoritmu je dobré vedieť, ako sa bude algoritmus správať vzhľadom na využitie technických prostriedkov výpočtového zariadenia a tiež samotné časové trvanie vykonávania algoritmu pri dátových vstupoch rôznej veľkosti. Od nárastu dĺžky trvania vykonávania algoritmu v súvislosti s nárastom veľkosti dátových vstupov sa odvíja zložitosť algoritmu. V prípade narastajúcej časovej dĺžky vykonávania algoritmu sa jedná o časovú zložitosť a v prípade narastajúcich nárokov na systémové zdroje sa jedná o priestorovú alebo inak aj pamäťovú zložitosť. Pri odhadnutí zložitosti algoritmu [6] môžu pomôcť systémové nástroje, ktoré dokážu zobrazit' priebeh správanie sa algoritmu spolu so zvyšovaním veľkosti dátového vstupu a porovnať jednotlivé algoritmy medzi sebou. Na základe týchto informácií je možné vybrať čo najvhodnejší algoritmus.

## II. ANALÝZA EXISTUJÚCICH RIEŠENÍ

V súčasnosti existuje niekoľko softvérových nástrojov, ktoré umožňujú analyzovať efektívnosť jednotlivých algoritmov [8]. Niektoré umožňujú len základnú analýzu, iné aj komplexnejšiu. Pre jednoduchšiu analýzu je možné využívať rôzne profilery, ktoré umožňujú zobrazit' napríklad počet volaní konkrétnej funkcie, alebo celkový čas vykonávania jednotlivých funkcií. Pre komplexnejšiu analýzu algoritmov je potrebné použiť komplexnejší systém určený na analýzu algoritmov, ktorým je napríklad systém ALGator [2].

### A. Systém ALGator

Systém ALGator [8] umožňuje meranie času vykonávania algoritmu, počítanie vykonávania jednotlivých častí kódu ako sú napríklad jednotlivé funkcie alebo porovnávanie a tiež počítanie vykonávania jednotlivých Java bytecode inštrukcií [2]. Java bytecode inštrukcie sú nízkoúrovňové inštrukcie [7], ktoré sa vykonávajú na virtuálnom stroji Java. Na rozdiel od iných programovacích jazykov sa program zapísaný v jazyku Java sa neprekladá do strojového

kódu pre konkrétny procesor, ale do špeciálneho jazyka bytecode inštrukcií virtuálneho stroja Java. Vďaka využívaniu bytecode inštrukcií a ich vykonávaniu na virtuálnom stroji Java bolo možné vytvorenie špeciálneho virtuálneho stroja Java, ktorý umožňuje zaznamenávať vykonávanie jednotlivých bytecode inštrukcií a následne poskytnúť výslednú štatistiku. To je možné vďaka komunikačnému rozhraniu, ktoré umožňuje spustiť a ukončiť meranie a získať výslednú štatistiku. Systém ALGator pre vytváranie projektov ako aj jednotlivých algoritmov vyžaduje používanie príkazov zadávaných z príkazového riadku a úpravu vopred vygenerovaných zdrojových súborov. Pre menej skúseného používateľa však niekedy nie je jednoduché správne upraviť obsah súboru s algoritmom tak, aby ho bolo možné následne spustiť a získať výsledky merania.

### B. Virtuálny stroj JamVM a VMep

Virtuálny stroj JamVM [4] je špecifický virtuálny stroj Java, ktorý rovnako, ako aj iné virtuálne stroje Java, umožňuje vykonávanie programu v jazyku Java bytecode inštrukcií, ktoré sú výsledkom prekladu programu zapísaného v programovacím jazyku Java. JamVM na rozdiel od iných virtuálnych strojov Java je open-source, nevyžaduje veľa miesta na ukladačom zariadení a na rozdiel od iných malých virtuálnych strojov Java je navrhnutý tak, aby podporoval plnú špecifikáciu pre virtuálny stroj Java [1]. Komunikačné rozhranie VMep [5] umožňuje komunikáciu s virtuálnym strojom JamVM. Komunikačné rozhranie VMep je stavané tak, aby umožňovalo komunikáciu s virtuálnym strojom JamVM, je však možné ho upraviť tak, aby bolo možné komunikovať aj s iným virtuálnym strojom, použitím natívnych metód daného virtuálneho stroja. Virtuálny stroj JamVM bol zvolený najmä preto, že je open-source a je jednoducho riešený, preto bolo jednoduchšie vytvoriť komunikačné rozhranie pre JamVM, než pre iný virtuálny stroj [2]. Komunikačné rozhranie – knižnica VMep bola vytvorená pre zjednodušenie počítania bytecode inštrukcií pomocou virtuálneho stroja JamVM [2]. Hlavná trieda knižnice VMep sa nazýva Monitor a má podtriedy InstructionMonitor a MemoryMonitor. Trieda Monitor obsahuje metódy start(), stop(), addRuntimeFilter() alebo getCounts(). Pomocou týchto metód je možné spustiť a ukončiť meranie vykonávania jednotlivých bytecode inštrukcií a tiež následne získať výslednú štatistiku.

## III. NÁVRH SYSTÉMU ALGTESTER

Na základe analýzy existujúcich systémov pre analýzu algoritmov, predovšetkým systému ALGator bol vytvorený nový systém pre analýzu algoritmov – ALGtester [3]. Systém ALGtester bol vytvorený v jazyku Java v prostredí Netbeans. Používateľské rozhranie bolo vytvorené v prostredí Netbeans prostredníctvom Java swing JFrame form. Na rozdiel od systému ALGator je možné vykonávať všetky akcie pomocou používateľského rozhrania bez potreby zadávania príkazov. Na rozdiel od systému ALGator nemá webové rozhranie a nepodporuje viaceré používateľské úlohy. Systém umožňuje iba jeden typ používateľa, ktorý môže vytvárať nové projekty, pridávať algoritmy, navrhovať testovaciu sadu, vykonávať meranie aj prezerať výsledky merania. Podobne, ako systém ALGator využíva na počítanie bytecode inštrukcií virtuálny stroj JamVM a rozhranie VMep. Na rozdiel od systému ALGator systém ALGtester neumožňuje zobrazenie výsledkov pomocou grafov. Systém ALGtester po spustení ponúka niekoľko editovacích polí, ktoré umožňujú zapísať algoritmus a testovaciu sadu pre algoritmus. Pre správne podanie testovacích dát pre algoritmus je potrebné zadať aj volanie metódy algoritmu s príslušnými parametrami. Okrem toho v rozhraní programu existujú aj editovacie polia na zadanie názvu algoritmu a veľkosti dátovej štruktúry alebo vstupu pre algoritmus, pre lepšie porovnanie v tabuľkách. Systém umožňuje aj generovanie dátových vstupov, kde je potrebné zadať maximálnu a minimálnu veľkosť vstupu. Po zadaní týchto údajov systém vygeneruje dátové štruktúry typu celočíselných polí a nastaví aj správnu veľkosť vstupu pre každú dátovú štruktúru. Takto vygenerované dátové štruktúry je možné využiť napríklad pri meraní efektívnosti triediacich algoritmov. Systém je rozdelený do jednotlivých modulov, ktoré sú implementované ako samostatné triedy. Systém pozostáva z hlavnej triedy, ktorá obsahuje používateľské rozhranie a zároveň rieši komunikáciu s virtuálnym strojom JamVM pomocou VMep, ďalej obsahuje triedu pre zobrazenie dát v tabuľke, ktorá rieši zároveň aj príslušnú časť používateľského rozhrania, triedu pre grafické zobrazenie výsledkov, ktorá zatiaľ nie je implementovaná a grafické zobrazenie systém nepodporuje. Systém externe volá metódy virtuálneho stroja JamVM pomocou rozhrania VMep. Rozhranie VMep a virtuálny stroj JamVM nie sú súčasťou systému, ale externé komponenty, ktoré systém pre merania bytecode inštrukcií a následné zobrazenie výsledkov vyžaduje. Nakoľko systém ALGtester využíva rozhranie VMep a virtuálny stroj JamVM, je potrebné, aby prostredie, na ktorom sa bude využívať systém ALGtester bolo kompatibilné s virtuálnym strojom JamVM a rozhraním

VMep. JamVM bol vytvorený pre linuxové systémy a preto je potrebné, aby bola táto požiadavka splnená. Nakoľko sa jedná o starší virtuálny stroj, je potrebné, aby bola podporovaná Java vo verzii JDK 7. Preto je systém ALGtester obmedzený len na systémy, ktoré podporujú platformu Java vo verzii JDK 7.

#### IV. PRINCÍP ČINNOSTI SYSTÉMU

Systém umožňuje analýzu algoritmov zapísaných v programovacom jazyku Java pomocou virtuálneho stroja JamVM, ktorého súčasťou je komunikačné rozhranie VMep [5]. Algoritmus zapísaný v jazyku Java sa po spustení vykonávania uloží do súboru. Do súboru sa tiež uloží aj dátový vstup, ktorý môže pozostávať z jednoduchých premenných, alebo tiež z komplikovanejších dátových štruktúr. V prípade použitia viacerých dátových štruktúr alebo viacerých algoritmov sa uložia do súborov všetky algoritmy aj dátové štruktúry. Po uložení jednotlivých dátových štruktúr a algoritmov sa vytvorí výsledný zdrojový kód v jazyku Java, ktorý obsahuje dátové štruktúry, algoritmus a riadiace príkazy potrebné pre spustenie a ukončenie merania počtu bytecode inštrukcií. Tento výsledný zdrojový kód sa vytvorí pre kombinácie každej dátovej štruktúry s každým algoritmom. Po uložení jednotlivých zdrojových kódov sa daný zdrojový kód preloží do spustiteľného súboru pomocou volania príkazu prekladača javac s príslušnými parametrami pre kompatibilitu s JamVM a VMep. Po dokončení prekladu dôjde k spusteniu vykonávania daného súboru na virtuálnom stroji JamVM s VMep. Volanie prekladača aj samotného vykonávania je riešené pomocou volania bash príkazov prekladača javac a virtuálneho stroja JamVM s parametrom spustiteľného súboru. Preklad a vykonávanie prebiehajú pre všetky kombinácie každej dátovej štruktúry s každým algoritmom. Výsledky merania počtu vykonaných bytecode inštrukcií sa uložia do výstupných súborov, pričom každý z nich je označený ku ktorému algoritmu a dátovej štruktúre bol vygenerovaný. Názov súboru je v tvare outputAxBy, pričom x je poradové číslo príslušného algoritmu a y je poradové číslo príslušnej dátovej štruktúry alebo dátového vstupu. Pri zobrazení v tabuľke sa načíta obsah výstupného súboru pre zvolený algoritmus a dátový vstup. Názvy algoritmov a veľkosti dátových vstupov sa ukladajú do samostatných súborov, ktoré sa potom načítajú podľa poradového čísla algoritmu a dátového vstupu. Systém umožňuje tiež súhrnné zobrazenie pre konkrétny algoritmus alebo pre konkrétny dátový vstup. V prípade konkrétneho algoritmu sa zobrazí porovnanie jednotlivých dátových vstupov, kde celkový počet inštrukcií predstavuje súčet počtov vykonaných bytecode inštrukcií jednotlivých typov. V prípade konkrétneho dátového vstupu sa zobrazí porovnanie jednotlivých algoritmov, kde rovnako celkový počet inštrukcií je súčtom jednotlivých vykonaných bytecode inštrukcií. V súčasnosti systém neumožňuje grafické porovnanie jednotlivých algoritmov, kde by mohol byť priebeh jednotlivých algoritmov pri rôznych dátových vstupoch znázornený graficky. Generovanie dátovej štruktúry – celočíselného poľa vyžaduje zadanie poľa najmenej veľkosti a poľa najväčšej veľkosti. Systém následne vygeneruje celočíselné polia, pričom prvé bude obsahovať minimálny počet prvkov, ktorý bol zadaný a posledné maximálny. Generovanie prebieha v cykle, pričom každé ďalšie pole má o 1 prvok viac. Systém aktuálne neumožňuje pri generovaní celočíselných polí nastaviť krokovanie zväčšovania poľa o viac ako jeden prvok. Po vygenerovaní dátových štruktúr systém dátové štruktúry uloží a nastaví správny počet dátových vstupov aj ich veľkosti podľa počtu prvkov. Systém umožňuje uloženie projektu, pričom sa uložia v adresári projects a následne v adresári s názvom projektu súbory obsahujúce jednotlivé algoritmy, dátové vstupy a tiež názvy jednotlivých algoritmov, veľkosti jednotlivých dátových vstupov a ďalšie potrebné informácie pre otvorenie projektu. Po načítaní projektu sa zobrazí prvý algoritmus a prvý dátový vstup.

#### V. POSTUP PRI MERANÍ EFEKTÍVNOSTI ALGORITMOV

Postup pri meraní efektívnosti algoritmov sa líši podľa toho, koľko algoritmov chceme porovnávať a tiež od počtu dátových vstupov.

##### A. Použitie jedného algoritmu a jedného dátového vstupu

V prípade použitia iba jedného algoritmu a jednej dátovej štruktúry je potrebné len zadať samotný zdrojový text metódy algoritmu v jazyku Java a tiež dátový vstup. V prípade algoritmu je možné z hlavnej metódy volať aj iné metódy. Metódy by však mali byť statické. V prípade dátovej štruktúry alebo premennej je potrebné len zadeklarovať premennú a inicializovať ju, pričom netreba deklaráciu a inicializáciu premennej vložiť do žiadnej funkcie. Po inicializácii premennej a definícii algoritmu je potrebné zavolať hlavnú funkciu algoritmu tak, ako je definovaná s príslušnými parametrami, pričom by mali byť tieto parametre typovo kompatibilné. Po zedefinovaní algoritmu a dátového vstupu je potrebné spustiť vykonávanie programu pomocou tlačidla execute. Po chvíli sa vykonávanie algoritmu dokončí a pre zobrazenie štatistiky bytecode inštrukcií je potrebné kliknúť na view as table.

### B. Použitie viacerých algoritmov a dátových štruktúr

V prípade viacerých algoritmov alebo dátových štruktúr je potrebné najprv zadať počet algoritmov a dátových štruktúr, ktoré budú použité a následne zvoliť konkrétnu dátovú štruktúru a algoritmus, ktorý chceme definovať. Po zadefinovaní algoritmu je potrebné zvoliť ďalší algoritmus a zadefinovať ho. Každý algoritmus by mal obsahovať hlavnú metódu s rovnakým názvom a typovo rovnakými parametrami. Po definovaní všetkých algoritmov je potrebné podobne definovať aj všetky dátové štruktúry. Nakoniec je potrebné skontrolovať volanie metódy algoritmu a príslušné parametre. V prípade nesprávneho volania funkcie nebude možné výsledný súbor preložiť, čo znemožní meranie vykonaných bytecode inštrukcií. Pre ideálne porovnanie efektívnosti sa odporúča pre každý dátový vstup či štruktúru zadefinovať jej veľkosť. Pre lepšiu orientáciu v algoritmoch sa odporúča zadefinovať názvy jednotlivých algoritmov. Po dokončení definície všetkých algoritmov a dátových vstupov je potrebné spustiť vykonávanie programu podobne ako v prípade jedného algoritmu a jedného dátového vstupu. V prípade viacerých dátových štruktúr a algoritmov môže vykonávanie trvať niekoľkonásobne dlhšie, ako pri vykonávaní len jedného algoritmu s jedným vstupom. V prípade dvoch dátových vstupov a dvoch algoritmov bude vykonávanie trvať až 4 krát dlhšie, pretože sa obidva algoritmy musia vykonať v kombinácii s obidvoma dátovými vstupmi. Čím viac algoritmov a dátových vstupov projekt obsahuje, tým dlhšie trvá meranie vykonaných bytecode inštrukcií.

### C. Použitie viacerých dátových štruktúr pomocou generovania

V prípade generovania dátových vstupov je potrebné zadať jednotlivé algoritmy podobne ako v predošlom prípade. V prípade zadávania dátových štruktúr je potrebné len zadať minimálnu a maximálnu veľkosť číselného poľa a kliknúť na generate. Výsledkom by mali byť vytvorené jednotlivé dátové vstupy typu celočíselného poľa. Po vygenerovaní dátových vstupov je možné spustiť vykonávanie a meranie bytecode inštrukcií.

### D. Použitie existujúceho projektu

V prípade, že sa projekt bol vygenerovaný na inom zariadení, je potrebné presunúť adresár s projektom do adresára data/usr/projects. Následne je potrebné zadať názov projektu a kliknúť na open. Po otvorení projektu je možné v prípade správnej definície algoritmov a dátových vstupov hneď spustiť meranie bytecode inštrukcií pomocou tlačidla execute.

### E. Uloženie projektu

Po dokončení definície algoritmov a dátových vstupov je možné projekt uložiť zadaním jeho názvu a kliknutím na save. Takto uložený projekt sa bude nachádzať v adresári data/usr/projects. Otvorenie takého projektu je možné jednoducho pomocou zadania jeho názvu a kliknutia na open.

## VI. PRÍKLAD POUŽITIA SYSTÉMU

Použitie systému ukážeme na jednoduchom príklade s triediacim algoritmom – merge sort. Pri tomto jednoduchom príklade bude použitý jeden algoritmus a 3 dátové štruktúry vytvorené pomocou generovania. Najmenšia dátová štruktúra bude celočíselné pole s desiatimi prvkami a najväčšia dátová štruktúra bude celočíselným poľom s dvanástimi prvkami.

### A. Algoritmus

V tomto príklade bol použitý nasledovný merge sort algoritmus:

- Hlavná metóda algoritmu – Execute:

```
void execute(int arr[], int l, int r)
{
    if (l < r)
    {
        int m = (l+r)/2;

        execute(arr, l, m);
        execute(arr, m+1, r);

        merge(arr, l, m, r);
    }
}
```

- Volaná metóda – Merge:

```
static void merge(int arr[], int l, int m, int r)
{
    int n1 = m - l + 1;
    int n2 = r - m;

    int L[] = new int [n1];
    int R[] = new int [n2];

    for (int i=0; i<n1; ++i)
        L[i] = arr[l + i];
    for (int j=0; j<n2; ++j)
        R[j] = arr[m + 1+ j];

    int i = 0, j = 0;

    int k = l;
    while (i < n1 && j < n2)
    {
        if (L[i] <= R[j])
        {
            arr[k] = L[i];
            i++;
        }
        else
        {
            arr[k] = R[j];
            j++;
        }
        k++;
    }

    while (i < n1)
    {
        arr[k] = L[i];
        i++;
        k++;
    }

    while (j < n2)
    {
        arr[k] = R[j];
        j++;
        k++;
    }
}
```

### B. Dátový vstup

V príklade bolo využité generovanie dátových štruktúr pomocou generátora celočíselných polí, čo je pre triediaci algoritmus merge sort ideálne. Pri generovaní dátových vstupov sme zadali minimálnu veľkosť poľa 10 prvkov a maximálnu veľkosť 12 prvkov. Výsledkom generovania boli 3 polia – 10 prvkové, 11 prvkové a 12 prvkové. Po vygenerovaní jednotlivých polí sa nastavil počet dátových vstupov aj veľkosť jednotlivých polí.

### C. Výsledok

Výsledkom merania je, že počet vykonaných bytecode inštrukcií algoritmu rastie približne lineárne s narastajúcou veľkosťou dátového vstupu – veľkosti celočíselného poľa. Podľa tohto zistenia by sme sa mohli nazdávať, že zložitosť algoritmu je lineárna, čo by však nebolo presné, nakoľko počet testovacích vstupov bol príliš malý a zložitosť algoritmu merge sort vo všeobecnosti nie je lineárna. Na presnejšie určenie zložitosti by bolo vhodné použiť viac vstupov, prípadne nechať väčší rozdiel medzi ich veľkosťami. Výsledné celkové počty inštrukcií pre jednotlivé dátové vstupy sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:



Výsledná tabuľka porovnania počtu bytecode inštrukcií:

| Data set     | Total instructions |
|--------------|--------------------|
| 1 (size: 10) | 1791               |
| 2 (size: 11) | 2035               |
| 3 (size: 12) | 2271               |

Algorithm  
Algorithm 1 (mergeSort) ▼

Data set  
Data set 1 (size: 10) ▼

Algorithm comparing table  
 Data set comparing table

## VII. ZÁVER

Vzhľadom na význam použitia čo najvhodnejších algoritmov na vykonávanie danej úlohy je potrebné vedieť správne určiť, ktorý algoritmus je pre danú úlohu najvhodnejší. Na určenie vhodnosti algoritmu z hľadiska efektívnosti je možné meranie celkového času vykonávania algoritmu, čo však nemusí byť presné najmä kvôli vykonávaniu iných procesov na pozadí, ktoré nie sú vykonávané stále rovnako, čo môže mať vplyv na čas vykonávania algoritmu. Ďalšou možnosťou je meranie počtu vykonaných nízkoúrovňových inštrukcií, čo umožňuje presnejšie meranie, pretože na počet vykonaných inštrukcií nemajú vplyv ostatné procesy. Vzhľadom k tomu, že okrem samotného merania by bolo vhodné porovnať aj jednotlivé algoritmy je potrebný nejaký systém, ktorý okrem samotného merania aj analyzuje výsledky a umožní porovnanie jednotlivých algoritmov. Nakoľko analyzované systémy neumožňujú komplexnejšiu analýzu alebo je ich použitie komplikované, bol navrhnutý a implementovaný vlastný systém, ktorý umožní meranie počtu vykonaných bytecode inštrukcií jednotlivých algoritmov pri dátových vstupoch rôznej veľkosti, čo umožní ich porovnanie a uľahčí výber najvhodnejšieho algoritmu. Meranie počtu vykonaných inštrukcií sa vykonáva pomocou virtuálneho stroja Java JamVM a jeho komunikačného rozhrania VMep, ktoré umožňuje získať výsledné namerané hodnoty. V aktuálnej verzii systém umožňuje zobrazenie výsledkov len pomocou tabuliek. Výhodou systému ALGtester napr. v porovnaní so systémom ALGator je, že algoritmy aj vstupy je možné zadávať priamo v grafickom používateľskom rozhraní a nie je potrebné otvárať algoritmy pre úpravu v ďalšom textovom editore. Zároveň pre vykonanie a analýzu algoritmov nie je potrebné zadávať príkazy pomocou príkazového riadku, ale vykonať tieto akcie je možné pomocou tlačidiel v používateľskom rozhraní aplikácie. Výhodou systému ALGtester je aj možnosť generovania vstupov pre celočíselné polia, čo je možné využiť napríklad pri testovaní triediacich algoritmov. V prípade potreby vstupov iných typov je potrebné ich zadefinovať manuálne. Nevýhodou systému a tohto typu merania je, že jednotlivé Java bytecode inštrukcie môžu mať rôzne časové trvanie[2], pričom systém považuje každú inštrukciu za rovnocennú, čo môže spôsobiť menšie nepresnosti pri meraní. Riešením by bolo v ďalšom vývoji systému kategorizovať jednotlivé inštrukcie podľa času vykonávania a hodnotiť inštrukcie nie iba počtom, ale aj váhou, čo by zabezpečilo presnejšie meranie. Okrem kategorizovania inštrukcií by bolo možné v ďalších verziách systému doplniť možnosť zobrazenia výsledkov pomocou grafov a tiež generovanie dátových vstupov aj iného typu, než iba celočíselných polí. Zároveň by bolo možné doplniť aj možnosť porovnávať len počet vykonaných konkrétnych inštrukcií, ktoré sú pre daný algoritmus najpodstatnejšie.

## LITERATÚRA

- [1] J. Nikolaj, Java virtual machine for counting the Java bytecode usage (original title: Predelava javanskega navideznega stroja za štetje ukazov zložne kode, language: Slovene). University of Ljubljana, Faculty of Computer and Information Science, 2014.
- [2] T. Dobravec, Java bytecode instruction usage counting with ALGator, Acta Electrotechnica et Informatica, Vol. 18, No. 4, 2018.
- [3] L. Tokarčík, Systém pre analýzu algoritmov (Diplomová práca), FEI TUKE, Košice, 2019.
- [4] R. Lougher, JamVM - an open source Java virtual machine, 2014, dostupné online: <http://jamvm.sourceforge.net/>
- [5] J. Nikolaj, JamVM with VMep (Virtual Machine Entry Point), <https://github.com/nikolai5slo/jamvm>
- [6] T. Dobravec, Estimating the time complexity of the algorithms by counting the java bytecode instructions. Informatics 2017, Poprad, Slovakia, November 2017.
- [7] J. M. Lambert and J. F. Power, Platform independent timing of java virtual machine bytecode instructions, Electronic Notes in Theoretical Computer Science, Vol. 220, No. 3, pp. 97–113, 2008.
- [8] T. Dobravec, Implementation and Evaluation of Algorithms with ALGator, Informatica 43, pp. 3–10, 2019.

# Analýza dát v bankovom sektore

*Alžbeta BAČOVÁ, Anna BICEKOVÁ, Ľudmila PUSZTOVÁ*

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Technická univerzita v Košiciach  
Letná 9/B, 042 00

alzbeta.bacova@student.tuke.sk, anna.bicekova@tuke.sk, ludmila.pusztova.2@tuke.sk

**Abstrakt** — Príspevok sa zaoberá analýzou dát poľských spoločností s cieľom predikovať potencionálne zbankrotovanie firmy. Bankrot vo všeobecnosti predstavuje nežiadúci stav, kedy podnik dlhodobo nie je schopný plniť si svoje záväzky a hrozí mu následný zánik. Predikcia bankrotov usiluje o zníženie tohto vplyvu tým, že umožňuje na určité obdobie dopredu zhodnotiť „finančné zdravie“ firmy. Celý analytický proces rozboru dát sa riadi metodikou CRISP-DM s využitím programovacieho jazyka R. V rámci fázy modelovania sme použili algoritmy najvhodnejšie pre dosiahnutie stanoveného cieľa, konkrétne rozhodovacie stromy, ktoré poskytujú jednoduchú interpretáciu získaných výsledkov. Súčasťou príspevku je aj stručný prehľad prác zaoberajúcich sa problematikou bankrotov podnikov.

**Kľúčové slová** — dolovanie v dátach, bankrot, rozhodovacie stromy, CRISP-DM

## I. ÚVOD

Nevyhnutnou podmienkou akéhokoľvek podniku v ekonomike je dôležitý neustály rast, rozvoj, spokojnosť zákazníkov, udržanie si postavenia na trhu, ako aj dosahovanie zisku, ktorý je výsledkom činnosti podniku. Všetky spomínané aspekty môžu ovplyvniť nepriaznivé činitele a rozhodnutia, ktoré spôsobujú problémy a v konečnom dôsledku môžu viesť až k postupnému úpadku podniku. Bankrot spoločnosti bol a stále je aktuálnym problémom nielen v národnej, ale aj svetovej ekonomike. Príkladom je mnoho finančných kríz, najznámejšia za posledné obdobie bola v roku 2008 [1], ktorej podľahli známe i neznáme firmy, ako aj banky po celom svete. V dobe, kedy využívanie informačných technológií a prostriedkov je nevyhnutnosťou pre prežitie ekonomických subjektov na trhu je dôležité, aby podniky vedeli pracovať s týmto nástrojom a dokázali vyriešiť resp. predísť stavu bankrotu. Práve využitie dátovej analýzy pri predpovedi stavu ohrozenia spoločnosti je kľúčovým spôsobom ako predchádzať tejto situácii. V súčasnosti je schopnosť aplikovať získané znalosti z dostupných dát pomocou moderných postupov populárne. V súvislosti s uvedeným bola práve táto skutočnosť motivujúcim faktorom pri riešení vybranej problematiky. Údaje vyplývajúce z finančných ukazovateľov, ako aj výber vhodných metód predikcie dokážu s určitou presnosťou naznačiť podniku, v akom stave sa môže v budúcnosti nachádzať a v prípade potreby bude podnik schopný zaviesť príslušné opatrenia. K dosiahnutiu nášho cieľa sme využili finančné ukazovatele poľských spoločností, na ktoré sme aplikovali algoritmy rozhodovacích stromov implementované pomocou voľne dostupného programovacieho jazyka R.

## II. POUŽITÉ METÓDY

CRISP-DM predstavuje najznámejšiu a najpoužívanejšiu metodológiu procesu dolovania v dátach. Považuje sa za štandardný model nenadväzujúci na konkrétny softvér, aplikovateľný v rôznych oblastiach, s cieľom získania potrebných informácií. Skladá sa zo šiestich základných fáz, konkrétne [2]:

- A. *Pochopenie problému* - zjednodušene sa jedná o pochopenie cieľov a požiadaviek z biznis pohľadu, prostredníctvom ktorých sa následne formuluje cieľ dolovania v dátach (DM). V tejto počiatočnej fáze je vhodné pomocou analýzy súčasného stavu, uviesť existenciu už dostupných riešení v danej problematike. Účelom tejto analýzy je zhodnotiť výstupy z doterajších výskumov a naplánovať si ďalšie smerovanie, so zvolením vhodných metód.
- B. *Pochopenie dát* - v tomto kroku je dôležité nájsť vhodné dáta, s ktorými sa bude pracovať po celú dobu projektu. Rozhodujúce je zistiť základné informácie o získanom datasete, a to najmä počet dostupných záznamov, označenie stĺpcov a ich význam, rozsah hodnôt

- (min - max hodnoty), priemer hodnôt v každom atribúte, typy jednotlivých dát (numerický, binárny).
- C. *Príprava dát* - do tejto fázy spadajú úlohy, ktorých výsledkom je určiť konečnú dátovú množinu určenú k modelovaniu. Jedná sa o *výber, čistenie, konštrukciu, integráciu a formátovanie dát*. Predspracovanie dát je časovo náročná fáza, ale veľmi podstatná, pretože kvalita vstupných dát ovplyvňuje úspešnosť dosiahnutých výsledkov. Pri úlohe výberu atribútov sa používajú metódy výberu ako napríklad **PCA** (Principal component analysis) alebo **LASSO** (Least absolute shrinkage and selection operator). Obe metódy slúžia na zníženie počtu atribútov a výber len tých najdôležitejších.
  - D. *Modelovanie* - vo fáze modelovania dochádza k aplikácii modelov, ktorými sa splnia ciele DM stanovené vo fáze pochopenia cieľa. V úvode je potrebné zvoliť si techniku tvorby modelu. V našom prípade sme zvolili rozhodovacie stromy, ktoré poskytujú jednoduchú reprezentáciu výsledkov. V praxi sa využívajú rôzne typy algoritmov rozhodovacích stromov líšiacich sa spôsobom vylepšovania presnosti modelov alebo rozdeľovania množiny objektov. V našej práci sme použili najznámejšie algoritmy, konkrétne **C4.5, C5.0, CART** a **random forest (RF)**. V prípade, ak dátová množina nie je vopred prerozdelená, tak práve v tejto fáze je potrebné rozčleniť ju na tréningovú, testovaciu a validačnú. Taktiež sa v tomto kroku vyhodnocujú jednotlivé vygenerované modely pomocou rôznych štatistických metrik, ktoré vypovedajú o kvalite použitých modelov. V našej práci sme použili najpoužívanejšie metriky ako **presnosť klasifikácie, úspešnosť, senzitivita, návratnosť** a **hodnotu AUC** (Area Under Curve).
  - E. *Vyhodnotenie* - zameriava sa na vyhodnotenie výsledkov z pohľadu biznis cieľov stanovených na začiatku procesu.
  - F. *Nasadenie* - v tejto fáze sa konečné výsledky práce upravujú do podoby, ktorá bude zrozumiteľná pre prijímateľa informácií a pomôže mu pri rozhodovaní. Kľúčovým činiteľom je vytvoriť plán nasadenia výsledkov do praxe.

Všetky kroky procesu sú prepojené a navzájom na seba nadväzujú. V súvislosti s uvedeným je preto dôležité splniť každú časť daného procesu a v prípade potreby ju opakovať s cieľom dosiahnutia lepších výsledkov v danom kroku.

### III. PREHLAD SÚČASNÉHO STAVU

Téma bankrotov podnikov a ich predikcia je zaujímavou a stále aktuálnou oblasťou pre mnohých odborníkov. Práve tí sa usilujú nájsť najvhodnejšie techniky slúžiace firmám, manažérom alebo investorom pri hodnotení stavu podniku na trhu. Podstatou definície týchto techník je vyhnúť sa rôznym komplikáciám vedúcim k finančným problémom podniku. V nasledujúcej časti príspevku sme sa venovali analýze troch štúdií, ktoré priamo súvisia s našou vybranou dátovou množinou.

Autor Zieba a jeho kolektív [4] vo svojom článku pracovali s rovnakými dátami ako my. Navrhli nový prístup v oblasti predikcie bankrotov, ktorý využíva metódu *extreme gradient boosting* (XGB) na učenie súboru rozhodovacích stromov. Cieľom výskumu autorov bolo identifikovať najlepší klasifikačný model pre každú z 5 dátových množín. Do úvahy vzali 16 klasifikačných modelov, medzi ktoré patrili napr. *lineárna diskriminačná analýza, viacvrstvový perceptrón so skrytou vrstvou, logistická regresia, AdaBoost, náhodný les* (randomforest) a *extreme gradient boosting*. Na vyhodnotenie modelov použili *AUC krivku* a na testovanie kvality rôznych nástrojov tréningových parametrov použili *10-násobnú krížovú validáciu*. Na základe použitia *Wilcoxonovho testu* p-hodnoty autori vyhodnotili, že najlepší klasifikačný model je XGB s najvyššími hodnotami priemeru - **0.959**.

V práci [5] sa autori zamerali hlavne na *umelé neurónové siete* (ANN) v rámci strojového učenia na klasifikáciu bankrotov. Najskôr klasifikovali poľské spoločnosti na zbankrotované a nezbankrotované pomocou ANN a získaný model použili na predikciu bankrotov v ďalšom období. Výsledky štúdie ukázali, že priemerná klasifikačná presnosť modelu je **81,3785%** s 5 neurónmi v skrytej vrstve.

Práca čínskych vedcov [6] taktiež riešila otázku predikcie bankrotov na datasete poľských spoločností. Ich hlavným zameraním bolo riešenie problému skreslených dát, na ktoré aplikovali niekoľko algoritmov pre zistenie anomálií/odchýlok. Tento krok im pomohol pri predikcii dát, aby dáta s menšinovou triedou (trieda 1) model nezaradil do triedy prosperujúcich podnikov (trieda 0). Na zistenie odchýlok použili *Viacnásobnú Gaussovu distribúciu, One-class SVM* a *izolovaný les*. Dostupné dáta rozdelili na tréningovú a testovaciu množinu v pomere 60:40 a použili *5-násobnú krížovú validáciu*. Aj v tomto prípade autori chceli zistiť metriky výkonnosti jednotlivých modelov použitím *ROC* a *AUC kriviek*. Výsledkom ich práce bolo zistenie, že model *izolovaný les* (isolation forest) v rámci metód odhaľovania odchýlok mal najlepšie výsledky, napr. v klasifikačnom prípade *1st Year* mal izolovaný les hodnotu *mean* (MN) **0.93** a neurónové siete zo všetkých 7 porovnávaných modelov najnižšiu hodnotu a to **0.84**. Snahou autorov bolo

ukázať, že práve modely odhaľovania anomálií môžu vyriešiť problém nevybalansovaných a skreslených dát, pretože modely kontrolovaného učenia často nedokážu vyriešiť tento efekt.

Na základe týchto štúdií môžeme konštatovať, že na nami stanovenú úlohu boli použité viaceré techniky DM. Najčastejšie to boli rozhodovacie stromy, neuronové siete, metóda SVM, ale aj náhodný les či model k-najbližší sused.

#### IV. EXPERIMENTY A VÝSLEDKY

Nasledujúca časť príspevku obsahuje zhrnutie základných zistení nášho analytického procesu riadeného metodológiou CRISP-DM.

##### A. Pochopenie cieľa

V rámci prvotnej fázy procesu sme si zvolili biznis cieľ, ktorého podstatou bolo pomôcť investorovi rozhodnúť sa, či si pre svoje investičné plány vyberie/nevyberie danú firmu. Banky pri rozhodovaní o poskytnutí resp. neposkytnutí úveru berú do úvahy predikciu stavu danej firmy na trhu, ako aj analýzu vývoja finančných ukazovateľov. Situácia na trhu a v samotnej ekonomike sa neustále mení a práve preto je pre podnik resp. manažment podniku veľmi dôležité vedieť, v akom stave sa bude podnik nachádzať o 3, 4 alebo 5 rokov.

Po formulácii cieľa z manažérskeho hľadiska sme si stanovili cieľ z pohľadu DM, pričom sme sa zaoberali konkrétnymi úlohami dolovania v dátach, v našom prípade klasifikácii a asociačným pravidlám. Jednotlivé klasifikačné modely sme si prvotne vytvorili na tréningovej množine a následne vyhodnotili na testovacej. Týmito klasifikačnými modelmi sme predikovali, či by konkrétna spoločnosť mohla v budúcnosti nezbankrotovať (0) alebo zbankrotovať (1). Výsledné modely sme vyhodnocovali na základe metrik vygenerovaných z príslušnej kontingenčnej tabuľky a taktiež aj pomocou AUC hodnoty.

##### B. Pochopenie dát

Dáta použité pre túto úlohu pozostávali z piatich datasetov, ktoré sa líšili počtom záznamov a rokom ich zberu. Konkrétne išlo o datasety 1<sup>st</sup> Year (7027 záznamov), 2<sup>nd</sup> Year (10 173 záznamov), 3<sup>rd</sup> Year (10 503 záznamov), 4<sup>th</sup> Year (9792 záznamov) a 5<sup>th</sup> Year (5910 záznamov). Celkový počet atribútov v každom datasete bol 65, z ktorých 64 predstavovalo finančné ukazovatele jednotlivých poľských spoločností a posledný atribút označoval stav danej spoločnosti (trieda 0 - nezbankrotoval, 1 - zbankrotoval).

V rámci tejto fázy sme zisťovali korelácie medzi jednotlivými vstupnými atribútmi. Na základe vytvorenia korelačných matíc sme zistili, že najsilnejšie korelácie nastali medzi dvojicami týchto atribútov: **Attr1** (čistý zisk/celkové aktíva) a **Attr7** (EBIT/celkové aktíva); **Attr7** (EBIT/celkové aktíva) a **Attr14** ((hrubý zisk + úrok)/tržby); **Attr2** (celkové záväzky/celkové aktíva) a **Attr10** (VI/celkové aktíva) a **Attr32** (krátkodobé záväzky \* 365)/náklady na predané výrobky)) a **Attr52** ((krátkodobé záväzky \* 365)/náklady na predané výrobky). Súčasťou tejto fázy bola aj identifikácia možných chýbajúcich hodnôt. Narazili sme naň pri viacerých atribútoch, avšak najvyšší počet nastal pri atribúte **Attr37**((obežné aktíva - zásoby)/dlhodobé záväzky)) a **Attr21** (tržby(n) / tržby(n-1)) vyskytujúce sa v každom datasete.

##### C. Príprava dát

Ako sme už spomínali, príprava dát je najdôležitejšou a zároveň časovo náročnou fázou v rámci dátovej analýzy. V rámci prípravy dát bolo dôležité aby sme si naše dáta upravili do podoby vhodnej pre modelovanie s cieľom získať kvalitné a relevantné výsledky. V tejto fáze sme sa venovali viacerým krokom.

- *Spojenie množín a vymazanie atribútov* - pôvodných päť dátových množín sme si spojili do jednej množiny. Keďže počet a typ atribútov bol v samostatných množinách rovnaký, nenastal žiadny problém pri ich spájaní. Celkový počet záznamov po spojení bol 43 405. Následne sme z množiny vymazali atribút **Attr37**, ktorý v každej množine obsahoval najviac chýbajúcich hodnôt.
- *Úprava chýbajúcich hodnôt* - nižšiu početnosť chýbajúcich hodnôt v atribútoch sme riešili nahradením priemernou hodnotou daného atribútu.
- *Redukcia počtu atribútov* - keďže samotný počet atribútov bol veľmi vysoký, rozhodli sme sa aplikovať niektoré metódy *feature selection*, konkrétne *LASSO* a *PCA metódu*. Metóda *LASSO* nám zredukovala počet atribútov na 34 a metóda *PCA* na počet 23.

##### D. Modelovanie

Fáza prípravy dát pomocou rôznych metód nám umožnila vo fáze modelovania vytvoriť experimenty s cieľom získať najlepší model. Celkovo sme vytvorili 4 rôzne experimenty z hľadiska metód výberu atribútov.

**1. Experiment** - v rámci tohto experimentu sme vytvorili viac ako 32 modelov, v ktorých sme vstupné atribúty zvolili pomocou metódy *LASSO*. Na generovanie modelov sme použili algoritmy rozhodovacích stromov C4.5, C5.0, random forest a CART. Rozdelenie celkovej množiny na tréningovú a testovaciu bolo v rôznych pomeroch. Z dôvodu nevybalansovaných dát v cieľovom atribúte class, sme na tréningovej množine pre naučenie modelu použili tzv. sampling (vzorkovanie). Najvyššia dosiahnutá presnosť bola 96,35% pomocou algoritmu C4.5 pri rozdelení množiny v pomere 80:20.

**2. Experiment** - v rámci tohto experimentu sme vytvorili 52 modelov opäť v rôznych pomeroch, v ktorých sme vstupné atribúty zvolili pomocou metódy *PCA*. Na generovanie modelov sme použili algoritmy rozhodovacích stromov C4.5, C5.0, random forest a CART. Najvyššia dosiahnutá presnosť bola 95,33% pomocou algoritmu C5.0 pri rozdelení množiny v pomere 70:30.

**3. Experiment** - v rámci tohto experimentu sme vytvorili 48 modelov v rôznych pomeroch, v ktorých sme vstupné atribúty zvolili na základe *korelačných koeficientov*. Opäť aj v tomto prípade sme použili vzorkovanie. Na generovanie modelov sme použili algoritmy rozhodovacích stromov C4.5, C5.0, random forest a CART. Najvyššia dosiahnutá presnosť bola 96,5% pomocou algoritmu C5.0 pri rozdelení množiny v pomere 90:10.

**4. Experiment** - v poslednom experimente sme ako vstupné atribúty použili všetky dostupné (63) okrem atribútu Attr37, ktorý sme v príprave dát odstránili. Na generovanie modelov sme použili rovnaké algoritmy ako v predchádzajúcich experimentoch. Vytvorených bolo 28 modelov v rôznych pomeroch množín. Najvyššia dosiahnutá presnosť bola 96,71% pomocou algoritmu random forest pri rozdelení množiny v pomere 90:10.

V príslušných modeloch sme sa orientovali aj na dôležitosť atribútov, ktoré mali podstatný význam pre naučenie daného modelu. Zamerali sme sa hlavne na modely s najlepšimi výsledkami presnosti. Medzi najdôležitejšie atribúty patrili najmä: **Attr24** (hrubý zisk (za 3 roky)/celkové aktíva), **Attr27** (zisk z prevádzkových činností/finančné náklady), **Attr41** (celkové pasíva/[(zisk z prevádzkovej činnosti + odpisy)\*(12\*365)]). Ďalším atribútom, ktorý bol zaradený medzi dôležité a prínosné pri modelovaní bol **Attr34** (prevádzkové náklady/celkové pasíva).

#### E. Vyhodnotenie

V rámci vyhodnotenia jednotlivých modelov sme sa zamerali na výsledky metrík uvedených vo fáze pochopenia problému.

Z hľadiska presnosti pre triedu 0 (nebanktorované podniky) boli výsledky pre všetky experimenty vyššie ako 95,18%. Pre triedu 1 (zbanktorované podniky) boli najvyššie dosiahnuté presnosti v prípade, keď nebolo použité žiadne vzorkovanie danej množiny a využili sme všetky dostupné vstupné atribúty.

Nakoľko je *AUC* (oblasť pod *ROC* krivkou) jedným z dôležitých metrík kvality klasifikácie modelu, hodnotili sme výsledky modelov aj z tohto hľadiska. Základom pre kvalitný model je, aby jeho *AUC* hodnota sa čo najviac približovala k hodnote 1. Výborne *AUC* hodnoty boli dosiahnuté iba za použitia algoritmu random forest v modeloch so všetkými vstupnými atribútmi. Najvyššie hodnoty sa pohybovali od 0,9083 do 0,9351.

Z hľadiska úspešnosti bol model s najvyššou úspešnosťou resp. najnižšou chybou vytvorený pomocou algoritmu C5.0. Pri experimentoch, v ktorých sme použili *undersampling* boli výsledky úspešnosti mnohokrát menšie a chyba sa zvyšovala. Najvyššie dosiahnuté úspešnosti sa pohybovali od 95% do 98%.

Z hľadiska metód výberu atribútov môžeme hodnotiť, že modely v 1., 2. a 3. experimente dosiahli väčšinou nedostatočné resp. slabé presnosti. V modeli C5.0, v ktorom sme atribúty vybrali pomocou korelácií, boli výsledky presnosti výborné. Celkovo najlepšie výsledky dosiahol 4. experiment na rôznych modeloch s rôznou úpravou dát, najmä však v *random forest* a *CART*. V tomto experimente sme použili všetkých 63 atribútov. Môžeme potvrdiť, že veľmi dobré výsledky sme dosiahli aj bez toho aby sme použili metódy výberu atribútov alebo výber atribútov na základe vzájomných korelácií. Väčší vplyv malo najmä vzorkovanie a úprava chýbajúcich hodnôt.

Po celkovom vyhodnotení experimentov sme vybrali najúspešnejší model. Bol vygenerovaný pomocou algoritmu C5.0, v ktorom boli použité všetky vstupné atribúty okrem odstráneného Attr37. Model bol vytvorený na množine rozdelené v pomere 90:10. Jednotlivé metriky daného modelu mali tieto hodnoty: úspešnosť (97,07%), chyba (2,93%), *AUC* hodnota (0,8715), senzitivita (0,9966), špecifickosť (0,4593). Z vygenerovaného rozhodovacieho stromu sme taktiež vyvodili niekoľko pravidiel, ako napríklad:

**AK** (Attr27) *zisk z prevádzkových činností/finančné náklady* > 1 096.9 **A** (Attr34) *prevádzkové náklady/krátkodobé záväzky* > 0.58 **A** (Attr34) *prevádzkové náklady/krátkodobé záväzky* <= 0.85 **A** (Attr22) *zisk z prevádzkových činností/celkové aktíva* <= 0.117, **POTOM 0** (nezbankrotuje). **INAK AK** (Attr22) *zisk z prevádzkových činností/celkové aktíva* > 0.117, **POTOM 1** (zbankrotuje).

#### V. ZÁVER

Cieľom predloženého príspevku bola analýza dát poľských spoločností s cieľom predikovať potencionálne zbankrotovanie firmy. Na modelovanie sme použili algoritmy rozhodovacích stromov C5.0, C4.5 CART a random forest, z ktorých bol najúspešnejší C5.0. Taktiež sme zistili, že medzi hlavné atribúty, ktoré ovplyvňujú zbankrotovanie firmy patril atribút *Attr27* (zisk z prevádzkových činností/finančné náklady) *Attr34* (prevádzkové náklady/celkové pasíva) a *Attr41* (celkové pasíva/[(zisk z prevádzkovej činnosti + odpisy)\*(12\*365)]).

#### POĎAKOVANIE

Táto publikácia vznikla vďaka podpore projektu FEI-2018-52 financovaného Fakultou elektrotechniky a infomatiky, Technickej univerzity v Košiciach, Agentúry na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-16-0213 a Vedeckej grantovej agentúry MŠVVaŠ SR a SAV, projekt č. 1/0493/16.

#### REFERENCIE

- [1] J. Havemann: The Financial Crisis of 2008: Britannica Book of the year.2008.
- [2] J.Smatana: Metodika CRISP-DM ako proces získavania znalostí.2012.
- [3] J.Paralič: Objavovanie znalostí v databázach, 1. vydanie. Košice: Elfa, 2003. 150 s.
- [4] M.Zieba, S.Tomczak, J.M.Tomczak.: Ensemble boosted trees with synthetic features generation in application to bankruptcy prediction. Expert Systems with Applications.2016, Vol. 58.
- [5] L.Hardinata, B.Warsito, B.Supart: Bankruptcy prediction based on financial ratio using Jordan Recurrent Neural Networks: a case study in Polish companies. Journal of Physics: Conference Series. 2018, Vol. 1025.
- [6] S.Fan, G.Liu, Z.Chen.: Anomaly detection methods for bankruptcy prediction. 2017 4th International Conference on Systems and Informatics (ICSAD). 2017, s. 1456 – 1460, ISSN:978-1-5386-1107-4.

# Digitizing paper ECG records

<sup>1</sup>Zuzana MIHÁLYIOVÁ, <sup>2</sup>Ján GENČI

<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>zuzana.mihalyiova@student.tuke.sk, <sup>2</sup>jan.genci@tuke.sk

**Abstract** — The amount of electrocardiograms recorded in hospitals is increasing. Although the most of modern ECG devices use digital output, keeping paper form of ECG remains mandatory for the most of hospitals due to documentation. In the last decade, exchanging information between healthcare facilities has become very important part of eHealth and medical research. It would be very helpful if paper type ECG could be converted into digital form. The paper shows existing methods of paper ECG digitization. We present a method for ECG digitization based on analysis of available methods and tools. Then we compare our results with results of existing ECG digitization tool.

**Keywords** — digitization, ECG, electrocardiography, image processing, python

## I. INTRODUCTION

Based on research by World Health Organization, number of people with heart and cardiac diseases had increased in last decades. Therefore we must determine proper examination for patients to heal or prevent diseases.

The most commonly used cardiac measurement is the electrocardiogram, which is now increasingly available, not only to specialists but also to general practitioners who also have ECG equipment. Although most devices now store recordings in its digital form, hospitals still have a large number of paper ECGs that have been made dozens of years back and new ones have been added because of the compulsory maintenance of paper documentation. In particular, if we want to investigate diseases that cause the death of a patient, it would be beneficial to have all the ECG records measured during his life. Therefore, it would be useful to find a way to get digital signal from the paper form of ECG.

Several methods of extracting data from electrocardiograms have now been developed. These procedures will be presented in this work. Our vision is to find a way to capture a paper ECG record and then digitize it efficiently and well to be used for further analysis. The aim is to propose a solution that is capable of creating a digital record which preserves all ECG features.

## II. RELATED WORK

A number of research teams have examined ECG digitization process over the past decades. This section provides an overview of existing solution designs. Many principles and technologies have been developed to effectively obtain ECG information. Due to the procedures used, it is possible to divide existing solutions into the following categories:

### A. Methods based on grid canceling

The main step in the methods in this section is to leave only the points of the image that belong to the signal, i. j. removing the grid. This can be done by several ways, by applying threshold function on image or by recognizing correct pixels by color.

In one of the first ECG studies [1], the authors divided the process into several steps: scanning, selecting a processing section, extracting a wave line, filtering unwanted data, and calculating the resulting values by scale.

The previous study dealt in particular with the extraction of the values themselves and assumed the correct rotation of the individual lead images on the input. At work [2], the authors have developed a procedure where they first divide the image into segments with text and segments of the signal, as well as make the scale and rotation correct. In addition to obtaining the



signal, the system was able to detect patient data printed on ECG using the OCR. The way to get values from a bitmap was very similar to the previous one. It was the application of the threshold function.

Most of the existing methods are aimed at processing electrocardiograms scanned by a scanner. Because scanning is time consuming, the authors intended to create a workflow that would allow the capture of an ECG photograph taken with a conventional digital camera [3]. The biggest problem for such a case is to deal with the angle under which the electrocardiogram was photographed. For this transformation you need to enter 4 points forming a rectangle around the ECG. For accuracy, this task is done by the user. Another procedure is to remove the grid and automatically determine areas with signal waves.

#### *B. Methods based on pattern recognition*

Another approach to the problem is shown at work (see [4]). Instead of removing the background, a filtering method is used to filter out the signal pattern areas from the image. The pattern is in this case a repetitive signal period. From the remaining pixels, the values are selected using the shortest path algorithm. In some cases, interpolation was used to smooth the line, adding additional points to the resulting signal.

#### *C. Methods based on graph algorithms*

In addition to the algorithms mentioned above, there are also algorithms that were designed to digitize various graphs - for example, graphs from scientific publications. One of the works that captures such a procedure is [5]. The author has created an application that creates a skeleton of the graph from which the x and y values are exported for a recorded image with a little user interaction. The commercial application for such purposes is the UN SCAN IT tool, which can extract various types of graphs from uploaded images.

Considering the quality of the scanned records, it is worth mentioning the work (see [6]). The authors point out that many records are damaged by aging or improper storage. The foregoing methods are satisfactory. The focus of the work is on the digitization of recordings in which ink or recordings have been partially evaporated, the paper of which is damaged by bending.

#### *MATLAB ECG to vector convertor*

MATLAB has an extensive free library of components created by the user community. A research group from the University of Indonesia (Universitas Putra Indonesia YPTK Padang) has developed a project to convert paper ECG into digital form (see [7]). Their solution is a module created for the MATLAB environment. The module can convert a conventional electrocardiogram scanned by a scanner at 600dpi. The digitization output is a vector format. A pixel indexing technique was used to extract the signal. We did not learn more about the technique from the available material because it was written in Indonesian.

### III. IMPLEMENTATION

The methods mentioned in the previous sections have usually used similar procedures to obtain values. From their knowledge, we tried to develop a simple and effective procedure for ECG digitization. In this section we will discuss the digitization process, which we have divided into several phases:

1. Removing the grid
2. Converting image to grayscale
3. Selection of signal values
4. Determination of x-axis and normalization of values
5. Smoothing the output signal

As for the platform and programming language we have chosen Python because of its simplicity and large number of open source libraries.

ECG images have a color grid that is one millimeter in size. One millimeter in the timeline direction is usually 0.04s and one 1mm on y axis is equivalent to 0.1mV. The color of this grid may vary with the type of paper. In terms of correct digitization, the grid of the same color as the drawn signal line is the most problematic. Otherwise, we can remove the grid by color. Several publications have identified the removal of the grid as a problem for the following reasons. Since we need to strictly distinguish the points that belong to the line and the points that are the

background of the image, we need to find the exact difference between the color values of those sets of points. In the scientific articles mentioned above, the problem was that the points belonging to the grid line intersecting the graph are darker by adding ink, and so they will belong to the result. Thus, the resulting line may have wrong shape where it crosses the thicker lines.

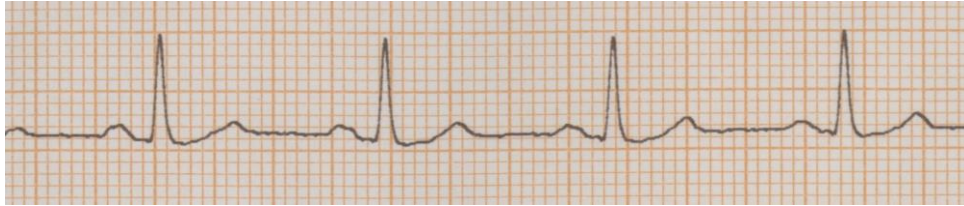


Fig. 1 Scan of paper ECG.

The previous step selects all the background points and colors them with a color contrasting with the line, for example white (see figure 2). Now we have only visible individual columns of pixels in different shades of black and gray. In the next step, it is necessary to choose only one ECG signal value for each column. This can be done by selecting the darkest point, the one on which the biggest amount of ink was applied.

Furthermore, it is necessary to extract the signal values from the image. From each column, we select the darkest point that most likely corresponds to the value. This assumption has several drawbacks. In many cases, there is not enough ink on the stylus of the electrocardiograph to make the line visible enough. As for small errors, it is possible to calculate unknown values. In other cases, when there are no values for longer time intervals, the ECG signal should be declared insufficient for digitization. Another option would be to reconstruct the signal using signal modeling.



Fig. 2 Figure 1 after removing the grid.

In the previous step we found out the functional points of the graph. However, the acquired values are relative positions in the figure. To obtain real data, it is necessary to recalculate these values to the resulting signal. To get normalized values, we need to know how many pixels are between the two lines of the grid. In our case, we have done this process manually.

One of the problems is the determination of the x-axis. Some procedures are based on a static position on the scanned paper. The publications generally indicate that this value was found to be the mean of isolated points. By finding the x-axis, we can then recalculate the other coordinates to the actual values of the voltage over time.

The resulting curve after performing the operations may give some imprecise line. The reason is that digital image is consisting of a set of pixels, sometimes the darkest point we pick is not the true value at that time. In order to achieve the best results, it is necessary to smooth the resulting curve.

Curve smoothing can be done in different ways. There are many well-known mathematical approaches. One of them is, for example, the moving average method. It is a function that is used to correct data noise for different situations. It is a function that for an input field and an integer  $n$  calculates the average value at a given interval of  $n$ , while the interval is constantly shifting. The larger the number, the higher the level of extermination we can achieve. Result signal of image 1 can be seen on Fig. 3.

In this part of the work is an evaluation of our experiments. We will compare two experiments: Existing MATLAB component and a method developed by us.

The results of digitization can be seen in the Fig. 4. For the output signals, we calculated the values of the mean square deviation with comparing to the original signal (see table 1).

Table 1 shows deviations from the original signal. We can see that the most accurate case for this sample was digitizing a 600 DPI image with a MATLAB converter. At 300 DPI, there was an error rate, mainly because of offset on x-axis.

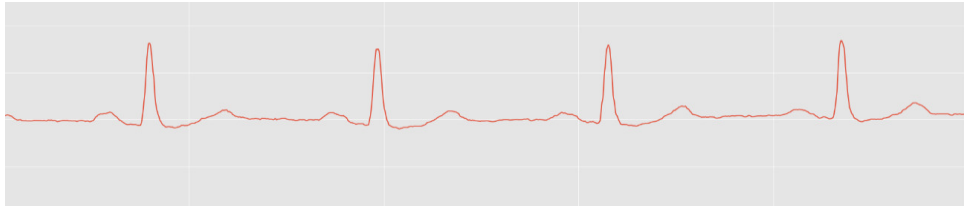


Fig. 3 Digitized signal.

#### IV. RESULTS

By testing, we found that the MATLAB module can be used for ECG digitization for 600 DPI scans with low noise and graininess. If the input scans are grainy, we can adjust them by using the blur function. The program would need further adjustments to change the resulting numerical scale.

Our solutions accuracy was slightly higher than the MATLAB component at 600 DPI. The 300 DPI image has been digitized with lower accuracy.

From both the experiment and the test experience, we evaluate both procedures as possible for ECG digitization. However, they still have their shortcomings that can be easily removed.

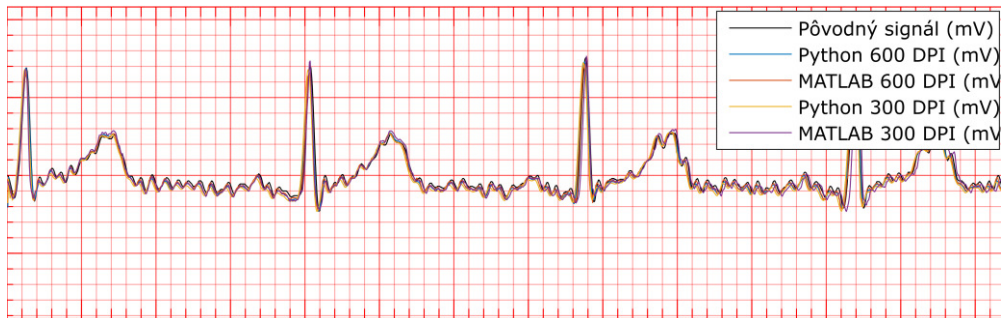


Fig. 4 Digitized signal comparison.

Table 1  
 Standart square deviation for MATLAB and our solution

| DPI | MATLAB | Our solution |
|-----|--------|--------------|
| 300 | 0,0106 | 0,0023       |
| 600 | 0,0013 | 0,0017       |

#### V. CONCLUSION

In our work, we have applied the knowledge about the different ways of digitizing ECGs to create a process that allows easy digitization of ECG paper records. We managed to develop a simple program in Python programming language that is capable of digitizing scans of paper electrocardiograms. Our process digitizes electrocardiograms in which ECG wave color differs from color of graph paper. The method is based on removing the grid and extracting the values according to the most significant points. We have tested our tool on available data. We also compared our results with data obtained by digitizing paper by another tool. The results show that the extracted digital data preserves all the essential characteristics of the ECG wave with high accuracy. We have found out from experiments that even ECG scanned at 300 DPI can be digitized in good quality, but the best possible results are achieved by digitizing scans at higher resolutions, e.g. 600 DPI.

ECG digitization research still reveals new knowledge. Possible further extension of this work would be to focus on automating as many steps of the digitization process as possible, as some of the steps in our process have been done manually, either the scanning or adjusting the paper rotation. A possible benefit would be to develop a method that is capable of successfully digitizing the ECG from images taken by the camera.

## REFERENCES

- [1] CHEBIL, Jalel; AL-NABULSI, Jamal; AL-MAITAH, Mohammed. A novel method for digitizing standard ECG papers. In: *2008 International Conference on Computer and Communication Engineering*. IEEE, 2008. p. 1308-1312.
- [2] RAVICHANDRAN, Lakshminarayan, et al. Novel tool for complete digitization of paper electrocardiography data. *IEEE journal of translational engineering in health and medicine*, 2013, 1: 1800107-1800107.
- [3] LOZANO-FERNÁNDEZ, Fernando, et al. Auto-cropping of phone camera color images to segment cardiac signals in ECG printouts. In: *2016 Computing in Cardiology Conference (CinC)*. IEEE, 2016. p. 421-424.
- [4] ATTIN, Mina, et al. Electrocardiogram characteristics prior to in-hospital cardiac arrest. *Journal of clinical monitoring and computing*, 2015, 29.3: 385-392.
- [5] KOCSIS, László; Graph digitizer, 2018.
- [6] PATIL, Rupali; KARANDIKAR, R. G. Robust algorithm for digitization of degraded electrocardiogram paper records. *ICTACT Journal on Communication Technology*, 2017, 8.3.
- [7] NAAM, Jufriadif; SUHARINTO, Catur; SUMIJAN, Sumijan. Digitalisasi Grafik Elektrokardiogram dengan Teknik Pixel Indexing. *Prosiding SISFOTEK*, 2017, 1.1: 172-176.

# Comparison of usability testing by instructions and real-word scenarios

<sup>1</sup>Matej MADEJA, <sup>2</sup>Lukáš VIDA, <sup>3</sup>Jaroslav PORUBÄN

<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.madeja@tuke.sk, <sup>2</sup>lukas.vida@student.tuke.sk, <sup>3</sup>jaroslav.poruban@tuke.sk

**Abstract** – Usability testing is very important part of application verification. Research is mostly concerned with comparing different approaches of this testing type, but rarely emphasize how the user comprehend the task. In this article we compare instruction- and scenario-based task definition approaches and test them on 3 different applications. Our results show that despite longer material preparation and longer testing duration, scenario-based results are more accurate in general. Use of instructions tend users to follow them too strictly and without creating other contexts. Scenarios inspired by real-world user stories are better for monitoring thoughts of a participant, it motivates him/her more, and improves the detection of issues. It has also been found that scenario-based approach covers most or, in some cases, all of the issues discovered by an instruction-based approach

**Keywords** – Application testing, real-word scenarios, testing by instructions, usability testing.

## I. INTRODUCTION

The goal of a software product that somehow interacts with the end user is to facilitate the user's specific job. Therefore, the product is being tested from many perspectives in order to bring the greatest possible stability and usability, in particular from user viewpoint user experience (UX), usability testing, etc. Usability is inherent in the products we use but it is invisible [1]. Users do not think about it, but it is in every product that they love.

Usability testing is very important part of software development cycle [2]. System is being tested with users that did not participate on software development and participants are hypothetical future users of developed application. During testing the observers monitor participant's ability to navigate in the system and system's intuitiveness.

Our experience shows that students in their bachelor or diploma thesis use methods that do not point to relevant results and work as assumptions. At our department there is a course titled *User Interface of Program Systems*, where students learn to design and test user interfaces and UX, but in thesis they often use different testing approaches of usability tests. We have observed two main approaches that students use: by defining specific tasks or by defining a user scenario. In this paper we compare both approaches, explain their background and examples of usage, and try to compare the results of using such testing on different applications with a user interface (UI).

## II. COMPARISON OF APPROACHES

Scenarios or tasks are necessary for usability testing, when we use method of cognitive walk-through. Testing participant is given certain tasks, which need to be defined before testing and he or she is asked to follow given tasks, one by one. Participant can be observed during the particular task execution and it is possible to monitor which features of system need to be fixed or modified from the UI or usability viewpoint. If the user can not accomplish the task successfully, it is needed to analyze obtained data, why the user could not accomplish certain task. The result of such analysis should be system modification due to deficiencies found.

We found that there are 2 main approaches of declaring tasks to the user in such testing:

- writing set of instructions needed to perform task successfully,
- include user in real-world scenarios.

According to [3] we have to be careful not to tell more information that is needed to accomplish particular task. Both approaches are introduced in following subsections.

### A. Instruction-based testing

When we decide for testing by instructions, all needed steps should be specified to accomplish the task. Tester should provide list of actions to participant written on paper or provided verbally. For example when the approach is used for testing an accounting web application, creating a new invoice it can be defined as a list:

- 1) Create new invoice in using corresponding section from the application menu.
- 2) Check if the invoice can be found in the *cash diary*.
- 3) Change the *date of creation* of invoice.
- 4) Delete invoice from the system.

The list with tasks can be also more detailed, example enriching tasks with data to be fill out. During testing participant reads and performs all of them at his own speed and try to use the tested system to accomplish them. Tester observes the participant and tries to catch all issues during the tasks execution. This testing approach can be helpful, but sometimes the task list can provide very detailed information and therefore participant does not need to think about the system as a whole. He or she does not have to explore the application and see which actions can be accomplished there. E.g. when we look at the list mentioned above, to create new invoice participant can immediately looks on *Invoices* section, as defined in the list. The problem is that user does not think about the real situation. When a man would like to create a new invoice, in his head (mental model) is the goal he wants to achieve, and not the exact steps he/she has to accomplish to create a new invoice. It is also not good to use keywords in task definition, as said by McCloskey [4] and Dumas [5] from practical viewpoint.

Designing intuitive user interfaces is important nowadays. Using described approach it is not possible to identify if the application is intuitive enough, because all of the instructions are clear and lead participant to the specified goal step by step. Of course, we can also minimize the details of particulars steps, or minimize the number of steps, on the other hand, tester always follows the list and to not think about real problem. He/she will likely have neutral emotional reaction and tries to reach the expected results as soon as possible. He can also think that we are testing him and not the system, so he will make actions under stress and this can lead to worse results. Hypothetically, when we provide too much information to the user, we can simulate that the user is well experienced with the system and speed of accomplishment the tasks can be inaccurate.

### B. Testing by real-world scenarios

Testing with real-world situations is based on use-cases, or better said user stories, for the given system. In this type of testing we introduce the participant to the scenario or short story and his/her task is to reach the goal using the system by his/her own way. His first step is to recognize the user story and understand it clearly, so it can be clarified by observer if an uncertainty occurred. Upon comprehension of the task it is possible to observe participant's steps and every further question can indicate a comprehension gap between the user and tested application. Participant is also motivated to think and perceive the system from different viewpoints. If we use the same example as in the section II-A, we can define the user stories as following:

- 1) *Initial scenario*: Imagine you are an accountant. You just sold 20 pieces of T-shirts (10€/pc) and 5 pieces of socks(2€/pc). You need to create and send an invoice to customer *Buyer Inc.* Then check that the invoice is counted in *cash diary*.
- 2) *After the the previous step accomplishment*: The customer has determined that the invoice *date of creation* does not match. Please correct it and send the invoice again.
- 3) *After the the previous step accomplishment*: For some reason you need to delete the invoice from the system. Delete it.

When we give the user a real-world scenario he/she is given opportunity to supplement his own idea and adapt the scenario to his/her own ideas. This approach gets user familiar with the scenario in the process of telling the story and therefore he/she is building positive emotional relationship with task. As mentioned in section II-A, specifying the main keywords that can be found in the system should be avoided. Sure, it is not possible to exclude all of the words related to the application domain (e.g. accounting system), but it is recommended to minimize it. The purpose of this rule is to motivate the participant to think which feature in system is suited for a given task. To accomplish the task he or she must clearly identify multiple application concepts and choose the right one for him/her.

There can also happen a situation when participant misunderstands a functionality of the application and accomplishes task incorrectly with an unexpected result. This can be meaningful for developers that users see another ways of achieving a particular task goal. If the way the user did the task was not intended for such operation, it means that the user wants to use the application in a different way.



Table 1  
 Applications used for approach comparison.

| Application        | App type | Status     | Participants per approach (instruction/scenario) | Experiment level |
|--------------------|----------|------------|--|------------------|
| Accounting system  | web      | prototype  | 3/3  | initial          |
| Sport tracking app | Android  | prototype  | 3/3  | full             |
| CMS system         | web      | production | 3/3  | full             |

### III. METHODOLOGY

There is a presumption from the previous sections that testing by real-world scenarios can detect more issues of a system compared to testing by instructions. We think that the second approach is more effective and has the potential to expose most of the issues of previous one (assumption from authors experience). Therefore, both approaches were tested on different real applications to compare efficiency and reliability of these approaches. We conducted the experiment with 18 respondents on three different applications (see Table 1). The definitions of all the tasks that will be described below are available at GitHub<sup>1</sup>.

#### A. Initial experiment

First, we made a basic comparison of both approaches during testing an accounting system developed as a result of the bachelor thesis [6]. We designed 5 simple specific tasks for testing by instructions, whereas in second approach we re-wrote them as real-world scenarios.

Initial experiment was focused on whether the method of presenting tasks to the participant will help him or her to better comprehend the task goal and how it can change the results for the same application. First we created an instruction-based task list (ordered from easiest to more complex) and by minor changes in the structure of sentences, we created a scenario-based one, trying to personalize the tasks to the end user. We did not extend the sentences with other content because we would like to find out whether the way the task is written influences the participant's comprehension, and finally, how it affects testing results.

In the experiment we met each participant and quickly introduced the system. Observer told him/her what is the purpose of the application and what functionality it provides. The participant could review the system in sufficient time period and if he/her was ready, we started to test. Observer monitored the following criteria:

- time needed for task completion (accomplishment time without task reading),
- number of questions asked during the task accomplishment,
- number of observed usability issues (navigation, misinterpretation, etc.).

Results of the initial testing are shown in Table 2. Questions during testing were focused mainly on meaning of components and specific input fields. We considered the issue to be a case where the user was unable to perform the task, used the wrong section, had multiple functional issues, or searched for the functionality for more than 5 seconds.

Table 2  
 Results of accounting system usability testing using different approaches.

| Participant | Approach     | Task 1 |   |   | Task 2 |   |   | Task 3 |   |   | Task 4 |   |   | Task 5 |   |   |
|-------------|--------------|--------|---|---|--------|---|---|--------|---|---|--------|---|---|--------|---|---|
|             |              | T      | Q | I | T      | Q | I | T      | Q | I | T      | Q | I | T      | Q | I |
| P1          | instructions | 36     | - | - | 36     | 2 | - | 64     | 1 | - | 58     | - | 1 | 92     | - | 1 |
| P2          |              | 22     | 1 | - | 69     | 2 | - | 62     | - | - | 52     | - | 1 | 68     | - | 1 |
| P3          |              | 33     | - | - | 118    | 1 | - | 96     | 1 | - | 99     | - | - | 116    | - | - |
| Avg         |              | 30     |   |   | 74     |   |   | 74     |   |   | 70     |   |   | 92     |   |   |
| $\sum$      |              |        | 1 | 0 |        | 5 | 0 |        | 2 | 0 |        | 0 | 2 |        | 0 | 2 |
| P4          | scenario     | 33     | - | - | 58     | - | 1 | 156    | 0 | 1 | X      | - | 2 | 116    | - | 3 |
| P5          |              | 18     | - | - | 151    | 2 | - | 142    | 2 | - | X      | - | 2 | 230    | 2 | 2 |
| P6          |              | 36     | - | - | 63     | - | - | 209    | 0 | - | 45     | - | - | 172    | - | 1 |
| Avg         |              | 29     |   |   | 91     |   |   | 169    |   |   | 45     |   |   | 173    |   |   |
| $\sum$      |              |        | 0 | 0 |        | 2 | 1 |        | 2 | 1 |        | 0 | 4 |        | 2 | 6 |

T = task completion time in seconds; Q = question asked during task accomplishment; I = found usability issues; X = goal not reached.

As can be seen from Table 2, first two tasks had almost same completion, but when performing more complex tasks (e.g. 3 and 5), times are higher, which may indicate possible usability issues. Very important result is the number of unique issues found in the application, where three times more issues has been found using the scenario-based approach. Task 4 using scenario has been misinterpreted and led to wrong goal, but this was due to inaccurate definition of the task. In general, these results showed an improvement in detection of issues using a scenario-based approach.

<sup>1</sup><https://github.com/madeja/usability-testing-scenarios>



### B. Full experiment

Since the results of the initial experiment showed improvement already with small changes to original tasks, we decided to do a more in-depth verification of both approaches on other two applications, one prototype and one system in production. For both applications we have prepared more complex tasks that included multiple smaller subtasks. Instruction-based tasks were defined in the same way as in the initial experiment, but scenario-based tasks were in the form of user stories, so they contained many details about the current situation in which the user is. With this big change we wanted to track whether the respondent's behavior would change and how it affects detection of usability issues. Preparing materials for usability testing took the following times:

- Sport tracking app - 20 min. instruction-based, 55 min. scenario-based,
- CMS system - 15 min. instruction-based, 45 min. scenario-based.

Another change was that we did not introduce the system to the user, so he or she did not know the purpose of the application. Within seconds, the user could try the application, but he/she did not see the system as it did during the first test, so as not to affect the user's intuition and routine behavior. During the initial minute, the participant could become familiar with the system. Consequently, he had to simply describe the purpose of the system so the observer was able to verify that the user has correctly detected the system. This way we wanted to minimize the observer's influence on the participant.

At the same time, we decided to record the device's screen on which the tests were performed and record also participant's behavior using a video camera. Overall, we recorded 3 hours and 44 minutes of user testing. Later it was possible to analyze user behavior in the app more accurately and compare participant's steps with the other ones.

## IV. RESULTS

Because in initial experiment questions had little information value questionable for us, so we haven't already tracked them, but we've started to track issues types the user reveals. Although the detection of functional errors is not the goal of usability testing, participants often reveal them. Therefore, during tracking the number of errors we divided them into two groups: 1) functional and 2) usability issues. Observed results are presented in the Tables 3 and 4. The summary Table 5 shows the number of unique issues found for a particular application and approach.

Table 3  
 Results of sport tracking app usability testing using different approaches.

| Participant | Approach     | Task 1 |    |    | Task 2 |    |    | Task 3 |    |    | Σ FI | Σ UI |
|-------------|--------------|--------|----|----|--------|----|----|--------|----|----|------|------|
|             |              | T      | FI | UI | T      | FI | UI | T      | FI | UI |      |      |
| P7          | instructions | 137    | 1  | 2  | 81     | -  | -  | 154    | 2  | -  | 3    | 2    |
| P8          |              | 84     | -  | -  | 62     | 1  | -  | -      | -  | 2  | 1    | 2    |
| P9          |              | 108    | -  | -  | 65     | -  | -  | 140    | 1  | 2  | 1    | 2    |
| Avg         |              | 110    |    |    | 69     |    |    | 147    |    |    |      |      |
| Σ           |              |        | 1  | 2  |        | 1  | 0  |        | 3  | 4  |      |      |
| P10         | scenario     | 244    | 1  | 2  | 146    | 1  | -  | 233    | 1  | 2  | 3    | 4    |
| P11         |              | 225    | 1  | 2  | 103    | -  | 1  | 335    | -  | 1  | 1    | 4    |
| P12         |              | 225    | -  | 2  | 158    | 1  | 1  | 317    | -  | 2  | 1    | 5    |
| Avg         |              | 231    |    |    | 136    |    |    | 295    |    |    |      |      |
| Σ           |              |        | 2  | 6  |        | 2  | 2  |        | 1  | 5  |      |      |

T = task completion time in seconds; FI = found functionality issues; UI = found usability issues.

Table 4  
 Results of private CMS system usability testing using different approaches.

| Participant | Approach     | Task 1 |    |    | Task 2 |    |    | Task 3 |    |    | Σ FI | Σ UI |
|-------------|--------------|--------|----|----|--------|----|----|--------|----|----|------|------|
|             |              | T      | FI | UI | T      | FI | UI | T      | FI | UI |      |      |
| P13         | instructions | 326    | -  | -  | 210    | -  | -  | 247    | -  | 1  | 0    | 1    |
| P14         |              | 447    | -  | 3  | 280    | -  | -  | 240    | -  | 2  | 0    | 5    |
| P15         |              | 438    | -  | 4  | 221    | -  | -  | 367    | -  | 2  | 0    | 6    |
| Avg         |              | 404    |    |    | 237    |    |    | 285    |    |    |      |      |
| Σ           |              |        | 0  | 7  |        | 0  | 0  |        | 0  | 5  |      |      |
| P16         | scenario     | 443    | -  | 2  | 290    | -  | 1  | 337    | 1  | 2  | 1    | 5    |
| P17         |              | 439    | -  | 2  | 391    | -  | 2  | 306    | -  | 2  | 0    | 6    |
| P18         |              | 444    | -  | 5  | 227    | -  | 3  | 378    | 1  | 1  | 1    | 9    |
| Avg         |              | 442    |    |    | 303    |    |    | 340    |    |    |      |      |
| Σ           |              |        | 0  | 9  |        | 0  | 6  |        | 2  | 5  |      |      |

T = task completion time in seconds; FI = found functionality issues; UI = found usability issues.

During the observation it was found that scenario-based participants found the issues multiple times and the same issues occurred with different users. When comparing both approaches

Table 5  
 Unique issues found per approach and application.

| Application        | Approach     | Total unique issues |    |                 |    | Same issues found by both approaches |    |
|--------------------|--------------|---------------------|----|-----------------|----|--------------------------------------|----|
|                    |              | per approach        |    | per application |    | FI                                   | UI |
|                    |              | FI                  | UI | FI              | UI |                                      |    |
| Sport tracking app | instructions | 3                   | 6  | 4               | 8  | 2                                    | 5  |
|                    | scenario     | 3                   | 8  |                 |    |                                      |    |
| CMS system         | instructions | 0                   | 7  | 2               | 12 | 0                                    | 7  |
|                    | scenario     | 2                   | 12 |                 |    |                                      |    |

FI = found functionality issues; UI = found usability issues.

in Tables 3 and 4 it can be seen that in the second one is the issue occurrence higher. At the same time, it can be argued that the scenario-based approach reveals most of the issues of the instruction-based approach (see Table 5). During testing the CMS system even 100% of usability issues have been covered. Taking into account these results it can be claimed that the scenario-based approach is more reliable.

Comparison of functional issues (FI) results indicates that instruction-based testing is again less reliable. As mentioned, functional tests are not the main goal of usability tests, but because the user takes unpredictable actions during the execution of a scenario, the reveal of these issues is more probable. For example, when testing the production CMS application, the FI found by the scenario-based approach were not found by the instruction-based one.

Furthermore, if the frequency of individual errors is compared, a higher issue occurrence in scenarios is evident. During the observation we have noticed that using scenarios users sometimes forgotten to accomplish a smaller task that they did not consider as important. In such cases, the user was warned by the observer. Nevertheless, user errors have often been repeated and have been achieved in different ways. On the other hand, when using specific instructions, users wanted to accomplish the task as quickly as possible without a more detailed understanding of the purpose of the task, which greatly affected the frequency of issues compared to the opposite approach.

## V. RELATED WORK

Usability testing and its methods are still an important field for discovering issues in applications. Najmeh et al. [7] created a summary of the known methods of usability testing and compare these methods. They created an overview to select the appropriate usability testing method for different testing objectives in the human computer interface design interaction. Mentioned methods are discussed and compared, but they categorize them as the user accesses the system, not the way tasks are assigned. We look at how task definition affects the test result and which method is more reliable.

Yang et al. in their paper [8] try to support the validity of usability testing by applying eye movement data in usability tests. They found out that when the eye-tracking equipment is used for the usability test, the concurrency think-aloud test method increases the users' psychological tension and cognitive workload, then it influences the test result, so it is suited to the simple tasks. According to them the retrospective think-aloud, we used in this paper, is closer to the user's operation in a natural status and is better for the complex tasks or the task chain test, such as our scenario-based approach.

Tarkanič et al. [9] have performed usability testing of an application in an open space class. Among other things, they compared the time dependence on changes in the application being tested and how quickly users are able to understand the context in the application. They found that size of important elements or information is crucial to reach the task goal faster. In this paper, we focused on the time dependence between changes in the task definition (how to provide information to the user) and the speed of realizing the same tasks for the same application.

## VI. CONCLUSION

This paper describes and compares the use of instruction- and scenario-based usability testing approaches. The authors reflect on how the method of defining exact instructions affects the testing participant. Both approaches were used during testing of 3 different applications, two prototypes and one production application. Testing was carried out by 18 respondents.

We found that it is not a good practice to write testing instructions as specific instructions, although they are easier for user to understand and perform. Using this approach users tend to follow the instructions too strictly and without creating other contexts. Results in this paper show that the probability of finding errors is much smaller and issues appear in smaller amount comparing the scenario-based approach. Furthermore, scenarios inspired by real-world user stories are better for monitoring participant's thoughts, it motivates him/her more, and improves the detection of participant's issues with the system.

It has also been found that scenario-based approach covers most or all of the issues discovered by an instruction-based approach, so it can be argued that defining exact instructions is inefficient and negatively affects the user's work with the system. At the same time, the task comprehension was better when using scenarios. Usability testing sometimes reveals functional issues. Scenarios reveal these issues more often because the user that works with the system is not affected by the instructions. In our future work, we would like to focus on how user work with the system during testing in detail, e.g. by eye tracking, and how is the user affected by the method of task definition.

#### ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by project KEGA No. 053TUKE-4/2019: Learning Software Engineering via Continues Challenges and Competitions.

#### REFERENCES

- [1] C. M. Barnum, *Usability testing essentials: ready, set... test!* Elsevier, 2010.
- [2] F. Paz, F. A. Paz, D. Villanueva, and J. A. Pow-Sang, "Heuristic evaluation as a complement to usability testing: A case study in web domain," in *2015 12th International Conference on Information Technology - New Generations*, April 2015, pp. 546–551.
- [3] Lighting Beetle. (2018) World usability day 2018: Ako zlepšiť používateľský zážitok v dopravných službách. [Online]. Available: <https://link.medium.com/Lx3ZLIQzTW>
- [4] M. McCloskey. (2014) Turn user goals into task scenarios for usability testing. [Online]. Available: <https://www.nngroup.com/articles/task-scenarios-usability-testing>
- [5] J. S. Dumas, J. S. Dumas, and J. Redish, *A practical guide to usability testing*. Intellect books, 1999.
- [6] L. Vida, *Online system for simple accounting*, 05 2019, bachelor thesis.
- [7] N. Ghasemifard, M. Shamsi, A. R. R. Kenari, and V. Ahmadi, "A new view at usability test methods of interfaces for human computer interaction," *Global Journal of Computer Science and Technology*, 2015.
- [8] Z. Yang, Y. Zhang, M. Li, and T. Chen, "The comparison study of usability test methodology based on eye-tracking technology," in *International Conference on Man-Machine-Environment System Engineering*. Springer, 2017, pp. 763–772.
- [9] T. Tarkanič, M. Madeja, L. Galko, and J. Porubän, "Usability of an open space class location and schedule application," in *2018 16th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA)*, Nov 2018, pp. 569–576.



# Author's index

- A**  
Adjailia Fouzia 236  
Andrejko Ladislav 299
- B**  
Babič František 214, 276  
Bačová Alžbeta 525  
Bednár Branislav 487  
Bednár Peter 256, 286, 421  
Beňa Lubomír 23, 36, 226, 296  
Biceková Anna 202, 481, 525  
Bilanová Zuzana 487  
Biroš Jozef 497  
Bobík Pavol 119, 176, 402  
Bražina Martin 102  
Buffová Erika 96  
Butka Peter 76, 286, 323, 408
- Č**  
Čarnogurský Juraj 13  
Čech Peter 382  
Čurová Daniela 343
- D**  
Deák Aleš 65, 131, 493  
Demčák Lukáš 251  
Demková Gabriela 8  
Doboš Lubomír 291, 427  
Dombrovský Lukáš 393  
Drutarovský Miloš 513  
Dvorčák Erik 493  
Džmura Jaroslav 182
- F**  
Fedor Lubomír Daniel 53  
Fedor Martin 18  
Fedor Pavol 317  
Ferenčík Norbert 27, 477  
Foltín Jaroslav 220
- G**  
Gajdoščík Martin 276  
Gamec Ján 48  
Gdovin Dominik 143  
Gecášek Daniel 402  
Genči Ján 119, 176, 263, 402, 439, 530  
Gerbočová Simona 214  
Girovský Peter 137, 304  
Gladišová Iveta 31, 232  
Gombos Zoltán 137
- H**  
Haluška Renát 153, 251, 372  
Hasin Martin 513  
Havlice Zdeněk 96, 208, 360  
Havrilla Martin 48  
Hendrichovsky Filip 236  
Hireš Máté 502  
Hládek Daniel 413  
Hluška Vladimír 171
- Hornýáková Alexandra 448  
Hrabčák Dávid 427  
Hrušč Tomáš 281  
Hruška Lukáš 91  
Hudák Marián 53, 125  
Husovský Rastislav 71  
Huszaník Tomáš 42, 148, 355
- Ch**  
Chodarev Sergej 366  
Chovanec Daniel 91
- I**  
Ilko Marek 443  
Ivančák Michal 509  
Ivančáková Juliana 286, 481
- J**  
Jakab František 65, 131, 220, 311, 443, 471, 493  
Janotka Samuel 281  
Jasenčák Martin 208  
Jochman Luboslav 208
- K**  
Kainz Ondrej 220, 311, 443, 471  
Kancír Patrik 81  
Kaňuch Ján 137  
Kardoš Slavomír 59  
Korečko Štefan 53, 245, 281  
Koščo Milan 372  
Kottner Daniel 408  
Koval František 176  
Krištof Marek 85  
Kudrík Tomáš 433  
Kunštár Marek 421  
Kupec Tomáš 471  
Kurimský Juraj 509
- L**  
Lakatoš Dominik 85, 460  
Liao Yuan-Fu 413  
Lojka Martin 413  
Lukáč Maroš 330  
Lunio Mikuláš 304
- M**  
Madeja Matej 535  
Magyar Ján 27, 477  
Mach Marián 497  
Machová Kristína 8  
Marchevský Stanislav 251  
Maslej Krešňáková Viera 76, 323, 408  
Mašlanka Matúš 119  
Matejová Veronika 460  
Matta Matej 208  
Márton Michal 36, 162, 198, 296  
Medveď Dušan 18, 81, 107, 143, 165, 171, 454  
Mihalík Ján 31, 232  
Mihályiová Zuzana 530
- Michalko Miroslav 220, 311, 443, 471  
Molnárová Monika 502  
Móricová Nikola 311
- N**  
Nezník Dominik 291  
Novitzká Valerie 157  
Novotná Barbora 157
- O**  
Oliinyk Maksym 182  
Ondáš Stanislav 71  
Oravec Jakub 186  
Ovseník Luboš 42, 148, 153, 162, 186, 198, 355, 372
- P**  
Papaj Ján 113, 448  
Paralič Ján 269, 433  
Pavlík Marek 397, 417, 466  
Pál Daniel 23, 36, 226, 296  
Perduková Daniela 317  
Perháč Jozef 360  
Petija Rastislav 220, 311, 443  
Pietriková Alena 382  
Pisarčíková Lea 481  
Pizur Eduard 76  
Pleva Matúš 299, 413  
Plšík Maroš 256  
Podolinský Ján 460  
Porubän Jaroslav 535  
Presada Ján 165  
Pusztová Ludmila 202, 269, 525
- R**  
Remák Miroslav 366  
Rusiňák Peter 245
- S**  
Saraka Peter 466  
Seman Patrik 65  
Schmidtová Silvia 439  
Silagyi Pavol 107  
Sinčák Peter 91, 236  
Sivý Martin 53  
Sobota Branislav 53, 125, 192, 245  
Staš Ján 413  
Steingartner William 102, 330  
Sučko Peter 397  
Szakács Peter 263
- Š**  
Šimoňák Slavomír 13, 388, 519  
Špes Michal 36, 162, 198, 296  
Šulaj Peter 153, 251, 372
- T**  
Tokarčík Lukáš 519  
Tomiq Emanuell 417  
Tóth Dávid 388  
Turán Ján 42, 148, 162, 186, 198, 355

**U**

Ujházy Lukáš 131

Urbanský Jakub 23, 36, 162, 198,  
226, 296

**V**

Vadovský Michal 433

Vanko Jakub Ivan 269

Vaščák Ján 338, 343, 349, 376, 393

Vápeník Roman 311

Vida Lukáš 535

Vojtko Ivan 349

Vrábel Michal 176, 263

**Ž**

Žak Patrik 192

Žvanda Peter 454

**Electrical Engineering and Informatics X****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, 544 pages  
Number of CD Proceedings: 50 pieces

Editors: prof. Ing. Alena Pietriková, CSc.  
Ing. Emília Pietriková, PhD.

**ISBN 978-80-553-3342-7**

**Electrical Engineering and Informatics X**  
**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, 544 pages  
Number of CD Proceedings: 50 pieces

Editors: prof. Ing. Alena Pietriková, CSc.  
Ing. Emília Pietriková, PhD.

**ISBN 978-80-553-3342-7**