

ITe@ 2024

XVI međunarodni naučno-stručni skup
Informacione tehnologije za e-obrazovanje

ZBORNIK RADOVA PROCEEDINGS

27-28. 9. 2024.

Banja Luka



POKROVITELJI KONFERENCIJE
AKADEMIJA NAUKA I UMJETNOSTI REPUBLIKE SRPSKE

XVI međunaroni naučno-stručni skup
Informacione tehnologije za e-obrazovanje

ITeO

ZBORNIK RADOVA
PROCEEDINGS

UREDNICI
DALIBOR P. Drljača
DRAŽEN Marinković
SINIŠA Tomić

POKROVITELJI KONFERENCIJE:
AKADEMIJA NAUKA I UMJETNOSTI REPUBLIKE SRPSKE

27 – 28. 9. 2024.
Banja Luka

XVI međunarodni naučno-stručni skup Informacione tehnologije za e-obrazovanje

ZBORNİK RADOVA

Urednici:

Doc. dr Dalibor P. Drljača
Doc. dr Dražen Marinković
Prof. dr Siniša Tomić

Izdavač:

Panevropski univerzitet "APEIRON", Banja Luka, godina 2024.

Odgovorno lice izdavača:

DARKO Uremović

Glavni i odgovorni urednik izdavača:

Prof. dr ALEKSANDRA Vidović

Tehnički urednik:

SRETKO Bojić

Štampa:

CD izdanje

Tiraž:

200 primjeraka

EDICIJA:

Informacione tehnologije - **Information technologies**
Knjiga br. 37

ISBN 978-99976-87-40-1

Radove ili dijelove radova objavljene u Zborniku radova nije dozvoljeno prešampavati, bez izričite saglasnosti Uredništva. Stavovi i ocjene iznesene u radovima i dijelovima radova lični su stavovi autora i ne izražavaju uvijek i stavove Uredništva ili Izdavača.

ORGANIZACIONI ODBOR

Doc. dr Dražen Marinković, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka, BiH, predsjednik*
Prof. dr Siniša Tomić, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka*
Boris A. Kovačić, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka, BiH*
Sretko Bojić, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka, BiH, tehnički urednik*
Marko Milovanović, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka*
Marijana Petković, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka, BiH, PR konferencije*
Radovan Vučenović, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka, BiH*
Stana Mišić, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka, BiH, logistika*

POČASNI ODBOR

Akademik prof. dr Rajko Kuzmanović, *Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske*
Akademik prof. dr Zoran Ž. Avramović, *Akademija inženjerskih nauka Srbije*
Akademik prof. dr Dušan Starčević, *Akademija inženjerskih nauka Srbije*
Prof. dr Gordana Radić, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka*
Darko Uremović, *predsjednik Upravnog odbora Panevropskog univerziteta APEIRON*
Doc. dr Siniša Aleksić, *direktor Panevropskog univerziteta APEIRON*

NAUČNI ODBOR

Doc. dr Dalibor P. Drljača, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka, predsjednik*
Prof. dr Goran Stojanović, *Univerzitet u Novom Sadu, Srbija*
Prof. dr Negovan Stamenković, *Univerzitet u Prištini, Srbija*
Prof. dr Ouajdi Corbaa, *Univesity of Sousse, Tunisia*
Prof. dr Ahmed Maalel, *Univesity of Sousse, Tunisia*
Prof. dr Branko Latinović, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka*
Prof. dr Siniša Tomić, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka*
Prof. dr Goran Đukanović, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka*

RECEZENTSKI ODBOR

Prof. dr Goran Đukanović, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka, predsjednik*
Prof. dr Željko Stanković, *Univerzitet UNION Nikola Tesla, Srbija*
Doc. dr Tijana Talić, *Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka*

SADRŽAJ:

ENHANCING CRYPTOGRAPHIC SECURITY: AN OVERVIEW OF POWER ANALYSIS AND FAULT INJECTION.....	7
Prof. dr Vladimir Mladenović	
KIBERSIGURNOST U POMORSTVU - MARICYBERA PROJEKAT	8
Prof. dr Sanja Bauk	
UNDERWATER DATA CENTRE IN THE BALTIC SEA	10
Mark Abner	
ENHANCING MARITIME EDUCATION AND TRAINING THROUGH VIRTUAL COLLABORATIVE LEARNING ENVIRONMENT	19
Margaret Balungile Masuku, Sanja Bauk	
TRACKING (HAZARDOUS) CARGO AT SEA: AN EXPERIMENT	27
Radoje Džankić, Sanja Bauk	
BLOCKCHAIN IN MARITIME: PROS AND CONS.....	36
Lindani Handsome Ntshangase, Sanja Bauk	
STUDY OF TRAIN TRAFFIC PARAMETERS IN SCENARIOS OF VIRTUAL COUPLING APPLICATION	42
Efim Rozenberg, Alexey Ozerov	
ANALYSIS OF VEHICLE-PEDESTRIAN CONTACT USING COMPUTER VISION AND OPENCV	58
Vesna Radojčić, Milos Dobrojević	
САОБРАЋАЈНА РЈЕШЕЊА БАЊЕ ЛУКЕ – ЗЕЛЕНОГ И ПАМЕТНОГ ГРАДА	68
Славојка Лазих, Зоран Ж. Аврамовић, Дражен Маринковић	
NAPREDNE INFORMACIONE TEHNOLOGIJE U KONTEJNERSKIM TERMINALIMA	77
Boris R. Mikanović	
BIO-INSPIRISANI ALGORITMI I PRINCIPI KOLEKTIVNE INTELIGENCije U OPTIMIZACIJI RUTIRANJA PODATAKA NA FIZIČKOM SLOJU IOMT SISTEMA.....	93
Goran Đukanović, Goran Popović	
LORAWAN MREŽA	104
Daniel Meničanin, Nikola Račić, Dražen Marinković	
PRIMJENA 5G MREŽNOG SUSTAVA I RAZVOJ NOVIH TEHNOLOGIJA.....	112
Dr. sc. Marijan Mijatović, Dr. sc. Marko Mijatović	
TRENTUTNI RIZICI OD MALICIOZNIH SOFTVERA I INTERNET NAPADA	117
Boris Kovačić	
STRUCTURAL-FUNCTIONAL MODELS EFFICIENT TOPOLOGY GENERATION	128
Leonid Mylnikov, Sofii Mylnikova	
EFIKASNOST STATIČKE ANALIZE KODA U SMANJENJU TEHNIČKOG DUGA.....	134
Pero Ranilović, Dražen Marinković	
DIGITALNA FORENZIKA U MEDICINI: RIZICI VEZANI ZA ZAŠTITU LIČNIH I MEDICINSKIH PODATAKA PACIJENATA.....	143
Igor Dugonjić, Jovo Marković, Mirko Sajić	
ANALIZA POSTIGNUĆA UČENIKA NA TESTOVIMA UZ POMOĆ I BEZ POMOĆI DIGITALNIH ALATA	148
Aleksandra Ivanov, Olja Krčadinac, Željko Stanković, Zoran Ž. Avramović	

UNAPREĐENJE POVERENJA U IZVORE INFORMACIJA: PRIMER KORIŠĆENJA VIKIPEDIJE NA SRPSKOM JEZIKU.....	154
Ivana Firaunović, Dragana Dudić, Nebojša Ratković	
MODELIRANJE KLJUČNIH INDIKATORA PAMETNIH ZGRADA PRIMENOM PFAHP.....	160
Mimica Milošević, Dušan Milošević, Ana Stanojević, Željko Stanković	
FAZNE I SIMETRIČNE NEURONSKE MREŽE ZA PROCENU KOMPONENTI U ELEKTROENERGETSKIM MREŽAMA	166
Vladimir V. Đokić	
MOGUĆNOST UPOTREBE VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U UTVRĐIVANJU VALIDNOSTI STUDENTSKIH ESEJA NA ENGLJESKOM JEZIKU	180
Katarina Držajić Laketić	
PRIMJENA CHATBOT TEHNOLOGIJE U ELEKTRONSKOM POSLOVANJU	185
Filip Mitrović, Dalibor P. Drljača	
INFORMATIČKA INTEGRACIJA NAVIGACIONIH SISTEMA U VAZDUHOPLOVIMA	191
Boris Z. Ribarić, Zoran Ribarić, Zoran Ž. Avramović	

PLENARNA PREDAVANJA



XVI međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2024

Banja Luka, 27 - 28. 9. 2024. godine



ENHANCING CRYPTOGRAPHIC SECURITY: AN OVERVIEW OF POWER ANALYSIS AND FAULT INJECTION

Prof. dr Vladimir Mladenović

Fakultet tehničkih nauka u Čačku, Univerzitet u Kragujevcu
vladimir.mladenovic@ftn.kg.ac.rs

Abstract: *Power Analysis and Fault Injection represent two powerful side-channel attack techniques. The former utilizes fluctuations in power consumption to covertly extract cryptographic keys. Attackers can deduce sensitive information without directly compromising the system by observing power usage during cryptographic operations. On the other hand, fault Injection which includes methods such as voltage glitches, laser strikes, and electromagnetic pulses, intentionally introduces errors into electronic devices. This disruption can lead to unauthorized access or data extraction, highlighting the vulnerability of cryptographic systems to physical interventions. This lecture provides an overview that emphasizes the importance of these techniques in understanding and enhancing cryptographic security. By studying practical applications and their impact on security measures, the work underscores the need for robust defenses against such sophisticated attacks. During the presentation, some methods of using these techniques will be shown, as well as a practical implementation that inspires further development of tools to enhance overall cybersecurity.*



XVI međunarodni naučno-stručni skup
 Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
 ITeO 2024

Banja Luka, 27 - 28. 9. 2024. godine



KIBERSIGURNOST U POMORSTVU - MARICYBERA PROJEKAT

Prof. dr Sanja Bauk

Estonian Maritime Academy, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia
bsanjaster@gmail.com; sanja.bauk@taltech.ee

Apstrakt: *Evropski MariCybERA projekat, koji se realizuje na Estonijskoj pomorskoj akademiji, Tehnološkog Univerziteta u Talinu, u periodu od 2021-2025. godine, ima za cilj da poveže pomorstvo i kibersigurnost, kroz istraživanja i obrazovanje. Kibersigurnost nije bila prioritet u pomorsvu, sve do pojave prvih većih kiber napada. Najveći je bio NotPetya, koji se desio 2017. godine, i brodarskoj kompaniji „Maersk“ nanio štetu od oko 300 milina američkih dolara u kripto valuti, prekid u radu i negativne posljedice po reputaciju. Usljed rastućeg trenda kiber napada u pomorstvu, odlučeno je da se veća pažnja pokloni tehničkim i humanim dimenzijama kibersigurnosti, uključujući tu kiber higijenu i menadžment. MariCybERA projekat ima za cilj uspostavljanje i vođenje Centar za pomorsku kibersigurnost na Estonijskoj pomorskoj akademiji, koji se bavi istraživanjima, obukom i vježbama. Na projektu trenutno radi trinaest istraživača iz oblasti pomorstva, kibernetike, softverskog inženjerstva, matematičkog modelovanja, forenzike, i ljudskog uticaja na kibersigurnost. MariCybERA istraživački tim radi na modelovanju integralnog sistema za kibersigurnost pomorske infrastrukture, uključujući tehničke i ljudske aspekte. Preciznije, ovaj tim iskusnih istraživača se bavi procjenom rizika, sigurnosnim nadzorom, analizom komunikacijskih protokola, razvojem metoda za otkrivanje kiber napada baziranih na vještačkoj inteligenciji, nadzorom navigacijskih kontrolera za autonomne brodove u skladu s COLREG zahtjevima, i drugim. Takođe, projektom je obuhvaćeno uvođenje elemenata kibersigurnosti u obrazovanje pomorca, kroz razvoj „STCW+“ programskih sadržaja. MariCybERA tim ima na raspolaganju malu kiberlaboratoriju sa AIS signalima dobijenim u realnom vremenu sa brodova koji uplovljavaju u Luku Talin, nekoliko nautičkih simulatora i autonomno istraživačko plovilo „Nymo“, koje su dizajnirali stručnjaci sa Tehnološkog Univerziteta u Talinu i MindChip kompanije. Istraživači na projektu, intenzivno saraduju sa Aalto i Turku univerzitetima u Finskoj, kao i sa NTNU iz Norveške. U planu je proširenje saradnje sa nekoliko institucija iz Singapura, koje se bave intenzivno i uspješno pomorskom kibersigurnošću. U planu je rad na pripremi novih Horizon2020 projektnih aplikacija u domenu digitalizacije u pomorstvu. Više o aktivnostima na projektu se može naći na web-u: <https://taltech.ee/en/estonian-maritime-academy/areas-of-advance/maritime-cyber-security>.*

PRIHVAĆENI RADOVI



XVI međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2024

Banja Luka, 27 - 28. 9. 2024. godine



UNDERWATER DATA CENTRE IN THE BALTIC SEA

Mark Abner

Tallinn a University of Technology, Tallinn, Estonia, maaabne@taltech.ee

Abstract: *This article introduces a hypothetical underwater data centre in the Baltic Sea. Additionally, it examines the potential threats on events in the Baltic Sea. The inspiration for this topic stems from my bachelor's thesis, which investigated the feasibility of an underwater data centre within Estonian maritime spatial planning. This work seeks to expand upon that concept. The impetus for this research was heightened by the onset of the war in Ukraine in February 2022, leading to increased security concerns across land, sea, and air, epitomized by the Nord Stream sabotage. This situation underscored the vulnerability of underwater infrastructure in the Baltic Sea, raising questions about the protection of such facilities. The existence of numerous underwater cables and pipelines (for communication, electricity, gas, etc.) globally, and the potential consequences of their damage or destruction, highlights the importance of this research. The thesis, on which this paper is based, primarily investigated underwater technological solutions that could safeguard an underwater data centre in the Baltic Sea, proposing that these technologies might also be useful for monitoring the sea's environmental health. Interviews are conducted with various stakeholders, including companies, researchers, and individuals involved in Baltic Sea underwater security and environmental management, to evaluate different technological solutions, their implementation, and relevant legislative frameworks. In preparing his thesis, and consequently this work the author utilized scientific literature, conducted interviews with relevant respondents, and engaged with various institutions and companies in the domain.*

Key words: *underwater data centre, underwater infrastructure, security, cybersecurity, environment, infrastructure, maritime legislation, ROVs, AUVs, smart buoys, AI, cables, PESTLE analysis.*

1. INTRODUCTION

This article examines the design, implementation, and effectiveness of underwater surveillance and monitoring systems, focusing on a hypothetical underwater data center in the Baltic Sea. It explores the integration of advanced technologies for infrastructure security and environmental monitoring, addressing physical intrusion detection, cybersecurity, and data protection. Inspired by Microsoft's successful Project Natick and the emerging leaders Subsea Cloud and China's Highlander, this article highlights the promising future of underwater data centers as sustainable alternatives to conventional ones. The master's thesis that this article is based on builds on the author's prior research and considers recent geopolitical events, emphasizing the increasing relevance of underwater security. It also discusses NATO's enhanced efforts in protecting critical undersea infrastructure and evaluates technologies like AUVs, ROVs, and smart buoys.

2. UNDERWATER DATA CENTRE CONCEPT

Data centres are the “invisible” backbone of digital society. Data centres house lots of private and sensitive information and they must work 24/7, any interruptions could cause losses measured even in billions of dollars. Data centres are responsible for our everyday life. Lots of enterprises run on data, it involves decision making and is responsible for customer experiences from small businesses to enterprises. Data centres are usually large buildings that house physical infrastructure, such as servers, storage devices and networking equipment. The main function of a data centre is to store, process and manage large amounts of data required for businesses to operate. As such is the case that data centres happen to be one the most environmentally demanding infrastructures. Over the past few years, data centre electricity consumption has accounted for a relatively stable 1% of global electricity usage, excluding cryptocurrency mining (De Vries, 2023), whereas aviation accounts for 2%-4% respectively (Afonso et al., 2023). In pursuit of environmentally and technical approach there have been several new technologies found place in data centre evolution to minimize the digital footprint. Underwater data centre concept dates to 2013 when one of Microsoft’s employees suggested that the company put server farms entirely underwater. This tactic would limit the cost of cooling the machines and it could also reduce construction costs, make it easier to power these facilities with renewable energy and even improve their performance (Want an Energy-Efficient Data Centre?, 2017). Program Project Natick was initiated in 2013 and first server was put underwater off the central California coast near San Luis Obispo, 30 feet (10 m) underwater, in 2015. This concept proved to be feasible. 2018 marked the beginning of Project Natick 2 (Figure 1). This time it was 12,2 m in length and 2,8 m in diameter (3,18 m including external components), which is about the size of a 40’ ISO shipping container. The location was European Marine Energy Centre, near Orkney Islands (Scotland). Furthermore, 100% green energy (on-shore wind and solar farms, off-shore tide, and wave power) was used, thanks to the infrastructure in that location. The electrical power consumption was 240 kW. Cylinder contained 12 racks (which is 864 standard Microsoft datacentre servers) and 27,6 PB (276 000 TB) of disk. This implies that it has room for 5 million movies and is as powerful as several thousand high-end consumer PCs. It is further important to mention that the operating environment inside the cylinder was filled with nitrogen (Project Natick Phase 2, 2020). Project Natick 2 was raised from the seabed in June 2020, revealing several significant advantages compared to conventional data centres: the successful deployment and operation of data centre equipment in an undersea environment. In phase 1, challenges such as cooling large-scale electronics and combating biofouling were addressed. Phase 2 demonstrated the economic viability of manufacturing full-scale undersea data centre modules and deploying them in under 90 days from decision to power-on. Furthermore, it proved to be a more sustainable approach that enhances the performance and reliability of the data centre compared to land-based facilities. Due to the use of nitrogen in a closed environment, Natick phase 2 had only 1/8th of the failure rate of land-based data centres. It is practical both environmentally and economically. As of the time of writing, Microsoft has not made any announcements about Project Natick 3. One of the leading underwater data centre concept entrepreneurs is Maxie Reynolds who’s the founder and CEO of Subsea Cloud. The company was established back in 2021. Maxie Reynolds previous experience finds her from subsea remotely operated vehicle (ROV) and offshore oil drilling sector. Also, she has background in cybersecurity, and she has published several books about it as well. The common trait that Subsea Cloud underwater data centre concept differs from Microsoft’s Project Natick is that instead of using nitrogen in the container, it uses liquid immersion cooling technology. It means that servers themselves are being immersed into a dielectric liquid (in the container)

(Figure 1). Liquid immersion cooling helps to even further cool and keep electric equipment away from the dust particles. So far Subsea Cloud has two ongoing projects – one near Seattle and another one in the Gulf of Mexico. The company is looking forward to expanding their operations in Scotland and Norway. The People’s Republic of China and underwater data centre company, Highlander, have deployed the world’s first commercial underwater data centre in the sea near Hainan Island, China – Hainan Undersea Data Centre. The technology being used is like that of Microsoft’s Project Natick’s. The 1 300-tonne system is submerged 35 meters on the seafloor and the water is used as natural cooling. Further plans indicate that 100 modules are planned to deploy at the site. It means that it would save 68 000 square meters of land, along with 122 million kilowatt-hours of electricity and 105 000 tons of freshwater per year. Each data centre has been designed to last 25 years (S. Moss, 2023).



Figure 1. Underwater data centre: Microsoft Project Natick 2 (M. Zhang, 2024).

3. UNDERWATER DATA CENTRE BENEFITS

Currently, many data center operators are not fully aware of the potential benefits of underwater data centers. Therefore, programs for education, training, and skill development are essential at various levels, including administrative, operational, and regulatory. Traditional data centers often face challenges such as high cooling costs and land usage. In contrast, underwater data centers offer a streamlined solution: by placing data centers in marine environments, cooling becomes more efficient and sustainable, leading to significant cost savings and reduced environmental impact. Instead of managing multiple cooling systems individually, operators only need to focus on the optimized cooling environment provided by the underwater setting, simplifying operations and enhancing efficiency.

Efficient energy use. Underwater data centers offer significant advantages in energy usage efficiency compared to traditional land-based facilities. Here are some key benefits: **Natural Cooling:** The surrounding ocean water provides natural cooling, eliminating the need for traditional air conditioning systems used in land-based data centers. This natural cooling reduces

energy consumption related to cooling infrastructure. **Energy Efficiency:** With reduced cooling requirements, underwater data centers consume less energy overall. This efficiency contributes to lower operational costs and environmental impact. **Renewable Energy Integration:** Underwater data centers can integrate with renewable energy sources such as tidal, wave, or offshore wind energy. This synergy enhances sustainability by reducing reliance on fossil fuels and lowering carbon emissions. **Heat Reuse:** The excess heat generated by data center operations can be harnessed and used beneficially, such as for local heating purposes or to support nearby marine environments. **Optimized Design:** Underwater data centers are designed with energy efficiency in mind, utilizing innovative architectural and engineering techniques to maximize performance while minimizing energy consumption.

Physical security. Underwater data centers offer significant physical security benefits compared to traditional land-based facilities. The submerged environment naturally protects against physical breaches and unauthorized access, as the ocean itself acts as a barrier to potential intruders. This isolation reduces the risk of vandalism, theft, and tampering. Additionally, underwater data centers are less vulnerable to natural disasters such as earthquakes, hurricanes, and floods, which can severely impact land-based data centers. The robust, sealed structures used in underwater data centers also enhance their durability and resilience, further safeguarding the critical data stored within. Overall, the unique positioning and construction of underwater data centers provide a highly secure and reliable solution for data storage and management.

Less building materials. Underwater data centers offer significant advantages in terms of requiring fewer building materials compared to traditional land-based facilities. **Minimal Infrastructure:** Underwater data centers leverage the natural environment of the ocean floor, requiring less physical infrastructure such as buildings, cooling systems, and support facilities that are typically needed for land-based data centers. **Simplified Construction:** The design of underwater data centers focuses on compact and robust structures that can withstand marine conditions. This simplicity in construction reduces the overall use of building materials, contributing to cost savings and environmental sustainability. **Environmental Impact:** By minimizing the use of building materials, underwater data centers reduce their ecological footprint. This approach aligns with sustainable practices by preserving land resources and minimizing disruption to terrestrial ecosystems. **Scalability:** The modular design of underwater data centers allows for easy scalability as demand grows. This scalability is achieved without significantly increasing the physical footprint or the use of additional building materials. **Longevity and Durability:** Built to withstand oceanic conditions, underwater data centers typically have longer lifespans and require fewer maintenance interventions compared to land-based facilities. This durability contributes to overall operational efficiency and reliability.

Faster connections. Underwater data centers provide several advantages in terms of faster connections and improved data transmission capabilities: **Proximity to Users:** Placing data centers underwater can bring them closer to coastal populations and major urban centers. This proximity reduces latency—the delay in data transmission—resulting in faster response times for users accessing data and services. **Improved Connectivity:** Underwater data centers can leverage existing underwater cable networks for data transmission. These networks are designed to carry large volumes of data quickly over long distances, enhancing connectivity between regions and continents. **Enhanced Data Transfer Speeds:** By locating data centers closer to data sources or end-users, underwater facilities can achieve faster data transfer speeds. This is critical for applications requiring real-time data processing, such as video streaming, online gaming, and financial transactions. **Scalability and Flexibility:** Underwater data centers can be easily scaled to

meet increasing demand for data storage and processing capacity. This scalability ensures that high-speed connections can be maintained even as data volumes grow. **Reliability and Redundancy:** Underwater data centers benefit from the reliability of submarine cable networks, which are designed with redundancy to ensure continuous data transmission even in the event of a cable failure or natural disaster.

Environmental stability. The stable and controlled underwater environment helps maintain consistent operating conditions for data center equipment, minimizing the risk of overheating or performance degradation.

4. UNDERWATER INFRASTRUCTURE AND THREATS

Critical maritime infrastructure touches a lot of daily aspects. It's crucial to basic functions such as trade, food and energy supplies, security and defence, communications, transport, tourism, and environmental management. Some structures are exceptionally critical, such as internet communication cables, without which society could not function effectively for long. For example, 99% of all transoceanic digital communication – financial transactions, emails, or voice messaging – transported through undersea fibre-optic cables (Bueger & Liebetrau, 2021). Direct connection is still the most effective link for both capacity and latency because satellites currently lack the bandwidth and a direct connection. On the other hand, important infrastructure differs between nations. Some countries depend on tourism or fishing, while others rely on energy infrastructure, maritime trade, or data cables. What counts as most important is often dictated more by political decisions than technical ones. It varies depending on the nation and region in question. 100 years ago, the shipping lanes, ports and telegraphic cables, the acceleration of oceanic activities has led to a vast growth of infrastructures at sea. There are characterised 5 types of Maritime Infrastructure (Figure 2):






		On the sea	In the sea	On land
	Transport	Ships, shipping lanes,	Emissions	Ports
	Energy	Platforms	Platforms, electricity cables, pipelines	Ports, landing stations, repair facilities
	Communication	Repair ships	Data Cables	Landing stations, repair facilities
	Fishery	Ships, fishing zones	Fishing gear, aquaculture	Ports, aquaculture
	Eco-systems	Biodiversity	Biodiversity, carbon sink, carbon storage	Coastal areas, beaches

Figure 2. Types of maritime infrastructure (Bueger & Liebetrau, 2023).

Since the late 1990s, concepts of critical maritime infrastructure have been proposed. There have been set some strategies by European Union and United States back in 2008 and 2009. Maritime infrastructure hasn't been under spotlight the way it is today. The trigger for maritime security agenda, were the terrorist attacks on the United States in September 2001. Since then, the debate on maritime terrorism had led to heightened global awareness of non-state ports. International Maritime Organization (IMO) took a step and established International Ship and Port Facility

Security (ISPS) Code. Such instruments were primarily aimed at preventing physical attacks from extremist organizations, growing concerns over cyber-attacks have since led to a substantial re-focusing on the vulnerabilities presented by the digitalization and automation of ports and shipping. These measures were often not a topic of public debate or political priority. Everything changed after the September 2022 attack on the Nord Stream pipelines in the Baltic Sea. Furthermore, again an incident occurred in the Baltic Sea in October 2023. Balticconnector gas pipeline (Figure 3) and a data cable were heavily damaged. For the 2023 October there's an ongoing investigation. A fault on the telecommunications cable running between the countries was first noticed on October 7. The incident occurred around the same time as two other incidents in the Gulf of Finland involving the Balticconnector gas pipeline and a communications cable owned by Finnish company Elisa on October 8. Stockholm investigators confirmed that damage to an undersea cable was caused by "means of external force or tampering" (Estonian Public Broadcasting, 2023).



Figure 3. The damaged offshore Balticconnector gas pipeline (Estonian Public Broadcasting, 2024).

Based on the data collected, the main line of investigation into the sequence of events has remained unchanged. The focus is clearing up the role of the vessel *Newnew Polar Bear*. The authorities believe the damage to the pipeline was likely caused by the anchor, but it is not yet known if it was deliberate or intentional (Estonian Public Broadcasting, 2023). It is estimated that Russia's hybrid tactics represent the most pressing threat to CUI in northern Europe. It was already estimated back in 2021 research that the rise of hybrid warfare, the perceived hostility of Russia's foreign policy, the fear of large-scale cyber-attack, and the growing technical sophistication of terrorist groups carry high concerns with them (Protecting Hidden Infrastructure, 2021). Ukraine has weakened its ground forces and strained its military industrial base. However, Russia's power projection capabilities in northern Europe, through naval, air, and missile bases in Kaliningrad, as well as its Northern Fleet of submarines on the Kola Peninsula, remain largely intact. Despite the underfunding of the Russian navy and the presence of many Soviet-era platforms in its fleet, its underwater capacity is steadily expanding. Russia's ability to target critical infrastructure without engaging in outright warfare and to impose economic costs to deter external intervention in regional conflicts is crucial aspect of Moscow's

doctrine and strategy on managing escalation. (Monaghan et al., 2023). Following a potential Nord Stream attack, the European Union has revised its maritime strategy to address evolving threats more effectively. It has also adapted an expanded directive on critical underwater infrastructure resilience, and in January, the EU-NATO Task Force on Resilience of Critical Infrastructure was launched. Many nations have enhanced their capacity to monitor and protect undersea infrastructure: France recently unveiled a new seabed warfare strategy and announced investments in ocean floor defence. Similarly, the United Kingdom has established a Centre for Seabed Mapping and allocated two new Multi-Role Ocean Surveillance vessels primarily for subsea protection duties (Monaghan et al., 2023). Historically, bottom trawling has been the main type of fishing to interact with submarine cables. Emerging threat for submarine telecommunication is fish aggregating devices (FAD). It has various environmental concerns, one of them being lost fishing gear that is primarily made of plastic and litters the oceans. Even more concerning is that the damage is often at far greater water depths (up to 5 000 m). The use FADs has been widely promoted in many regions, including the western and central Pacific, Indian Ocean, Caribbean Sea, Mediterranean Sea; however their use is limited in the north Atlantic (International Cable Protection Committee issue #2 March, 2021). Ever since the spotlight is on the diverse array of infrastructure at sea, particularly those situated on the seabed, like cables and pipelines, that were previously overlooked and deemed „inconspicuous“, there’s lots of important topics needed to be covered cooperatively with concerned countries and alliances (P. Judge, 2022).

5. PESTLE ANALYSIS

The PESTLE analysis is a strategic management tool used to analyse and monitor the external factors that can impact an organization, company, or industry. The PESTLE stands for political, economical, social, technological, legal, and environmental factors. It involves examining these factors to understand the opportunities and threats they pose, helping organisations to adapt their strategies accordingly. This specific analysis below indicates the current position in today's environment for the specific underwater data centre. The outcomes will indicate the drivers and challenges for this new technology and its potential future situation in the Baltic Seas context.

Political dimension. Government regulations and policies regarding marine conservation and use of marine resources. Legal considerations regarding the installation and operation of infrastructure in marine environments. International treaties and agreements related to oceanic exploration and exploitation.

Economic dimension. Cost of establishing and maintaining a underwater data centre compared to traditional land-based data centres. Economic stability of the regions where the data centre might be located. Potential economic benefits such as job creation and local economic development

Social dimension. Public perception and acceptance of underwater data centres and their impact on marine ecosystems. Stakeholder engagement and community involvement in the planning and implementation process. Potential benefits to society such as improved data accessibility and reduced environmental impact compared to land based data centres

Technological dimension. Impact on marine ecosystems and biodiversity, including potential disturbances to underwater habitats and wildlife. Measures for minimizing carbon footprint and energy consumption, such as utilizing renewable energy sources and efficient cooling systems.

Compliance with environmental regulations and standards aimed at protecting the Baltic Sea's fragile ecosystem.

Legal dimension. Compliance with national and international maritime laws and regulations, including permits and licenses required for underwater construction and operation. Intellectual property rights related to data storage and processing within the underwater data centre. Liability and insurance considerations in the event of accidents or environmental damage

Environmental dimension. Compliance with environmental regulations and permits for underwater construction and operation. Intellectual property rights related to underwater technologies and data transmission.

On overall the project presents exciting opportunities to meet growing data demands and promote technological innovation, careful planning, stakeholder engagement, and adherence to regulations are essential for navigating the challenges and ensuring long-term-success in the Baltic Sea region.

6. UNDERWATER SURVEILLANCE TECHNOLOGIES

Underwater technology encompasses historical techniques like cable cutting and tapping, initially developed during the Cold War, which are critical for safeguarding underwater infrastructure today. The integration of smart buoys offers a promising solution due to their passive nature and sophisticated sensor arrays. Equipped with sensors for measuring water temperature, salinity, pressure, and acoustic signatures, smart buoys transmit real-time data via advanced communication protocols to onshore monitoring stations. This capability ensures prompt detection and response to anomalies or threats, bolstering environmental monitoring efforts. Recent advancements in underwater cameras have revolutionized marine surveillance capabilities. Enhanced with high-resolution imaging, night vision, and thermal imaging capabilities, these cameras deliver clear visuals in challenging underwater conditions. They serve diverse purposes, including the monitoring of critical infrastructure such as underwater pipelines, observation of marine life, and support for scientific research endeavors. As global connectivity increasingly relies on undersea communication cables, the detection of unauthorized activities such as tapping or cutting these cables has become paramount. Advanced surveillance systems, employing acoustic and electromagnetic sensors, monitor cable integrity, promptly identifying any attempts at tampering through changes in signal or transmission speed. Autonomous Underwater Vehicles (AUVs) and Remotely Operated Vehicles (ROVs), equipped with sensors, manipulator arms, and cameras, provide supplementary capabilities for underwater exploration. However, given the passive nature and proximity to the coastline (typically within 10 km) of underwater data centers, smart buoys emerge as more suitable solutions for environmental monitoring and data security. Sonar technology remains integral to underwater surveillance, employing sophisticated signal processing techniques for accurate detection and classification of underwater objects. From submarine detection to seafloor mapping, modern sonar systems play a vital role in underwater surveillance and reconnaissance efforts.

7. CONCLUSIONS

In conclusion, the development of underwater data centers represents a significant advancement in both technological innovation and environmental sustainability. As highlighted throughout this article, these submerged facilities offer a promising solution to the challenges faced by traditional land-based data centers, particularly in terms of energy efficiency, physical security,

and operational reliability. By leveraging the natural cooling properties of the ocean, underwater data centers minimize energy consumption and carbon footprint compared to their terrestrial counterparts. This efficient design not only reduces operational costs but also contributes to environmental conservation by utilizing renewable energy sources and optimizing heat reuse strategies. Moreover, the inherent physical security provided by underwater locations offers robust protection against physical breaches and natural disasters, crucially safeguarding critical data and infrastructure. This advantage is further bolstered by advancements in surveillance technologies such as smart buoys, advanced cameras, and autonomous vehicles, which enhance monitoring capabilities and ensure prompt detection of any threats or anomalies. In light of recent geopolitical events and escalating concerns over cybersecurity and infrastructure vulnerabilities in the Baltic Sea region, the deployment of underwater data centers emerges as a strategic response to mitigate risks and strengthen resilience. Initiatives such as Microsoft's Project Natick and innovations from companies like Subsea Cloud and Highlander underscore the growing interest and feasibility of underwater data centers worldwide. Looking ahead, continued collaboration among stakeholders, adherence to regulatory frameworks, and ongoing technological advancements will be essential to realizing the full potential of underwater data centers. By addressing these considerations, stakeholders can navigate challenges and capitalize on opportunities to establish underwater data centers as sustainable, secure, and integral components of our digital infrastructure. Ultimately, the evolution of underwater data centers not only promises to meet the escalating demands of global data storage and processing but also sets a precedent for environmentally responsible technological innovation in the maritime domain.

LITERATURE:

- [1.] De Vries. The growing energy footprint of artificial intelligence. Accessed on 10. 09. 2023.
- [2.] F. Afonso et al. Strategies towards a more sustainable aviation: A systematic review. Accessed on 01. 02. 2023.
- [3.] Cutler, Fowers, Kramer and Peterson. Want an energy-efficient data center? Build it underwater. Accessed on 21. 02. 2017.
- [4.] Microsoft Project Natick (homepage). Accessed on 10. 07. 2024.
- [5.] S. Moss. China deploys 1,400-ton commercial underwater data center. Accessed on 27. 11. 2023.
- [6.] M. Zhang. Underwater data centers: servers beneath the surface. Accessed on 23. 11. 2024.
- [7.] C. Bueger and T. Liebetrau. Protecting hidden infrastructure: The security politics of the global submarine data network. Accessed on 29. 03. 2021.
- [8.] Estonian Public Broadcasting: Cable between Estonia, Sweden damaged by external force or tampering. Accessed on 10. 07. 2024.
- [9.] Monaghan et al. NATO's role in Protecting Critical Undersea Infrastructure. Accessed on 19. 12. 2023.
- [10.] M. Clare, International Cable Protection Committee. Submarine Cable Protection and the Environment. March 2021. Accessed on 10. 07. 2024.



XVI međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2024

Banja Luka, 27 - 28. 9. 2024. godine



ENHANCING MARITIME EDUCATION AND TRAINING THROUGH VIRTUAL COLLABORATIVE LEARNING ENVIRONMENT

Margaret Balungile Masuku¹, Sanja Bauk²

¹ Durban University of Technology, Durban, South Africa

² Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia

balungilemasuku@yahoo.com; bsanjaster@gmail.com

Abstract: *The integration of virtual collaborative learning environments (VCLEs) in maritime higher education and training (MHET) has the potential to revolutionize the traditional methods of teaching and learning. Traditional MHET methods face challenges such as accessibility, cost, and the need for real-time practical exercises. By integrating advanced simulation technologies and collaborative tools, VCLE offers an interactive, immersive learning experience. This paper explores the efficacy and impact of VCLEs on maritime education, highlighting the advantages, challenges, and outcomes associated with their implementation. Through an extensive literature review, problem identification, and methodological analysis, this study aims to provide insights into the practical applications and benefits of VCLEs in MHET through a case study. The findings indicate that VCLEs enhance learner engagement, facilitate real-time collaboration, and improve competency in maritime skills, thereby contributing significantly to the advancement of MHET.*

Key words: *virtual collaborative learning environment (VCLE), maritime higher education and training (MHET), integration.*

1. INTRODUCTION

Maritime higher education and training (MHET) are critical for preparing professionals to operate and manage marine vessels and facilities safely and efficiently. Traditional MHET approaches often involve on-site training and simulation exercises, which are resource-intensive and limited in scalability. The advent of digital technologies has paved the way for innovative solutions, such as virtual collaborative learning environments (VCLEs), to augment traditional training methods. The VCLEs are increasingly being integrated in MHET to enhance learning outcomes and bridge the gap between theoretical knowledge and practical skills. These environments leverage digital technologies to facilitate collaboration among students, instructors, and industry professionals, regardless of their geographical locations. Furthermore, VCLEs offer interactive and immersive experiences, which can increase student engagement and motivation. Tools such as virtual reality (VR), augmented reality (AR), and/or extended reality (XR), provide realistic simulations of maritime operations, enhancing the learning experience (Lindfors et al., 2018). This paper investigates the role of VCLEs in MHET,

examining their impact on learning outcomes and their potential to address existing educational challenges.

2. RESEARCH BACKGROUND

Maritime education is traditionally delivered through classroom instruction and onboard training. However, these methods have limitations, including high costs, logistical constraints, and limited access to hands-on experience. Advances in digital technologies offer new possibilities for overcoming these challenges. Furthermore, the maritime industry demands highly skilled professionals capable of operating in complex and dynamic environments. Conventional training programs, though effective, face constraints such as high costs, limited access to training facilities, and inflexibility. The VCLEs offer a promising alternative by providing an interactive and immersive learning experience that can be accessed remotely. These VCLEs utilize technologies like VR, AR, XR and collaborative software platforms to generate lifelike training scenarios and support both peer-to-peer and instructor-led interactions (Jones & Smith, 2021). Furthermore, VR creates immersive environments where students can practice navigation, safety procedures, and emergency responses in a controlled setting. It provides a hands-on experience that is crucial for developing practical skills (Jensen & Schröder, 2018) whereas AR overlays digital information onto the real world, enhancing situational awareness and training realism. For example, AR can be used to visualize engine components and their functions during maintenance training (Makransky & Lilleholt, 2018). However, implementing VCLEs requires robust technical infrastructure, including high-speed internet, reliable software, and hardware capable of supporting VR and AR applications thus ensuring consistent access to these resources can be challenging (Leong et al., 2020). Moreover, lecturers need to be proficient in using VCLE technologies to effectively facilitate learning. Ongoing professional development and support are essential for instructors to stay updated with the latest tools and methodologies (Hansen & Andreasen, 2020). In addition, students must possess basic digital literacy skills to navigate VCLEs effectively. Providing introductory training and resources can help students adapt to the virtual learning environment (Sørensen et al., 2017). This study investigates how VCLE can be applied effectively to the MHET, aiming to enhance the quality and accessibility of maritime knowledge transfer.

3. ENVIRONMENTAL SCAN

Research on VCLE indicates its potential to transform education by providing interactive, immersive experiences that enhance learning outcomes. In maritime education, studies have shown that simulation-based training can effectively replicate real-life scenarios, providing students with practical skills and experience in a controlled, risk-free environment. However, there is limited research on the integration of collaborative elements into these virtual environments. This study builds on existing literature by exploring the added value of collaborative learning in a virtual context, particularly for MHETs. The integration of virtual engagement (VE) or collaborative online international learning (COIL) into maritime higher education and training is already taking place in some South African institutions, for instance. These internet-based collaborative teaching and learning programs currently serve as supplementary to traditional face-to-face education and are not yet recognized as formal educational modules. However, the proper international recognition and accreditation of these programs are essential for the students, including future seafarers (Bauk & Masuku, 2022). Existing research underscores the benefits of VCLEs in various educational contexts. In

maritime education, studies have shown that VCLEs can enhance spatial awareness, decision-making skills, and collaborative competencies among students. For instance, Smith et al. (2020) found that VR-based simulations in maritime training improved students' ability to navigate complex scenarios. Additionally, Brown and Williams (2019) highlighted that VCLEs promote active learning and engagement, which are crucial for mastering maritime operations. Despite these advantages, challenges such as technological limitations, high initial setup costs, and resistance to change persist. The VR simulators provide students with an authentic learning experience due to their high level of engagement. By interacting with virtual objects, students can more effectively express their understanding of the subject. Consequently, VR-based simulators directly align with two learning theories: experiential learning and constructivism (Pantelidis, 1995). Research indicates that VR can enhance learner motivation and engagement, and facilitate higher-order learning (Di Natale et al., 2020; Mallam et al., 2019). Additionally, VR simulators offer a greater return on training investments due to their portability and adaptability to various settings. However, the learning community has noted some limitations with VR. The initial learning curve for new technology requires significant time and effort from instructors to implement it effectively (Aldunate and Nussbaum, 2013). Furthermore, increased use of VR can lead to issues such as motion sickness, eye fatigue, and a lack of direct feedback during tasks (Munafo et al., 2017). There are also concerns about the "hype" surrounding VR, with some arguing that it may take time to fully understand its benefits and limitations (Cochrane and Farley, 2017). Despite these limitations, VR-based simulators remain a promising development for maritime simulation, offering innovative applications for training and education. Similar expectations apply to the latest types of simulators being introduced for maritime training and education. The VR, AR, and XR have the potential to transform education. Namely, VR can create immersive learning experiences where students interact with simulated objects and environments. The AR, on the other hand, provides real-time feedback and enables students to interact with virtual elements in their real-world surroundings (Aroba et al.).

4. PROBLEM STATEMENT

Despite the potential benefits of VCLE, there is a need for empirical evidence on its effectiveness in maritime education. Traditional MHET methods are limited by high costs, logistical challenges, and the need for real-time, practical training experiences. While VCLEs present significant opportunities for MHET, their adoption and integration into existing curricula are fraught with challenges. These include technological barriers, the need for substantial initial investment, and the resistance from traditional educators and institutions. Moreover, there is a lack of comprehensive studies examining the long-term impact of VCLEs on learning outcomes and professional competencies in the maritime sector. This paper aims to address these gaps by evaluating the effectiveness of VCLEs in MHET and providing recommendations for their successful implementation.

5. METHODOLOGY

This study employs a quantitative research technique. It involves a survey of maritime students and professors and instructors, who have utilized VCLEs, assessing their experiences and perceived benefits. Data collected through the surveys are coded, edited, and analysed to identify trends, challenges, and best practices in the implementation of VCLEs in MHET.

6. ANALYSIS, RESULTS AND DISCUSSION

The applied case study included 150 students who have participated in afore described VCLE projects at Durban University of Technology (DUT) over the past three years. The study also included 25 professors - instructors from DUT and the partner institutions in Mexico, Brazil, China and the United States. Based on the intensive desktop study of secondary academic sources, as well as on the basis of the professional experiences, the authors identified the following relevant constructs from the perspective of students: proficiency development (s1), internationalization of curricula (s2), students' centeredness (s3), informal learning (s4), and learning with technology (s5). The following constructs have been identified on the professors', i.e., instructors' side: professional development (p1), problem based teaching (p2), boosting research curiosity (p3), enhancing social intelligence (p4), and technology based teaching (p5). The analysed constructs are graphically presented in Figure 1.

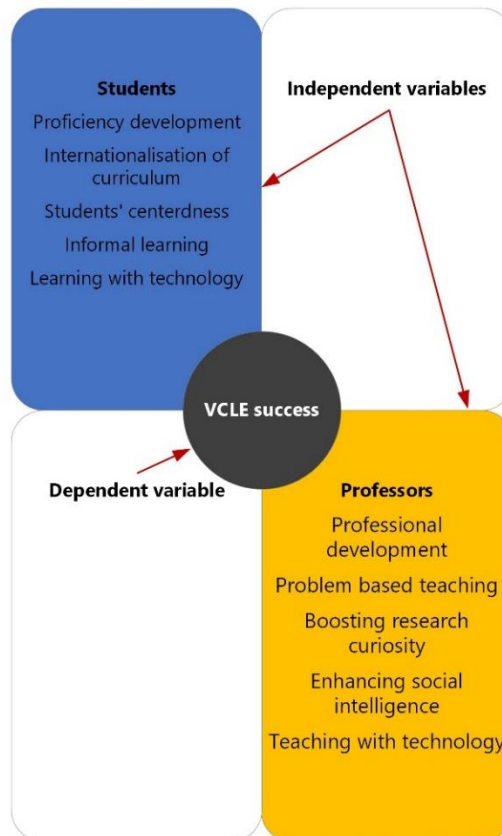


Figure 1. Variables included into VCLE at DUT analysis (own research).

Respondents were asked to use the Likert scale (1-5) to assess the degree of influence of each of the identified constructs on the positive learning outcomes in the virtual environment. The

highest level of influence is labeled with 5, while the lowest one is assessed as 1. In between are the nuances of the considered constructs positive impact on VCLE in the 'global' classroom. In establishing correlation between the independent (s1-s5 & p1-p5) variables and dependent ones (ys & yp), i.e., benefits of VCLE, multiple linear regression model has been used. Simulation analysis are done in Microsoft Excel Module embedded software into classical Excel program. Relations between individually assessed dependent variables by the respondents (students and professors) and by the model predicted values of the dependent variables (ys & yp) are graphically presented in Figures 2 and 3. The overall statistical analysis results upon the set of collected and edited data are presented in Table 1. Regarding the results presented, it is clear that proficiency development has the strongest positive impact on VCLE success due to the students' assessments, while problem based learning has the strongest impact on VCLE quality due to the professors' evaluations. The rank of other constructs is presented as well. However, since this was one shot case study, carried out on a small sample, validity of the obtained results should be tested in the future through longitudinal both qualitative and quantitative (or mixed) studies over considerably larger polls. Diversification among the students and professors might be taken into account as well, including the field of study, nationality, personal preferences and institutional policy. This should be the subject of further more detail and rigor studies in this domain.

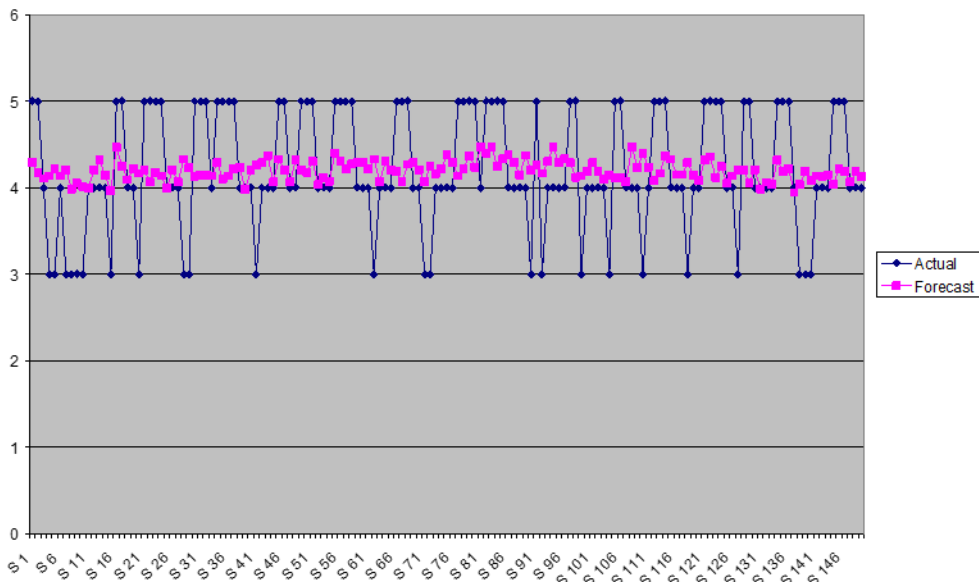


Figure 2. Multiple linear regression analysis: Students' responses (own research).

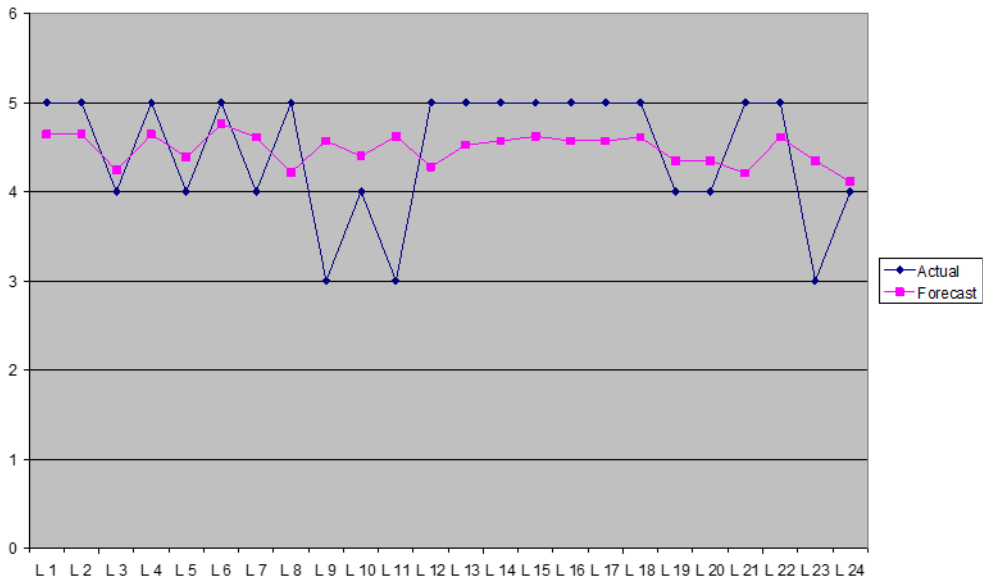


Figure 3. Multiple linear regression analysis: Professors' responses (own research).

Table 1. Impact of the independent variables to the dependent ones in the model including precision

Students (150)					
Independent variable	proficiency development (s1)	internationalization of curricula (s2)	student centeredness (s3)	informal learning (s4)	learning with technology (s5)
Impact on the dependent variable (ys) – c1-c5 coefficients	0.138 (I)	-0.096 (V)	-0.016 (III)	0.070 (II)	-0.084 (IV)
SE	0.707	r	0.163	r ²	0.027
Professors (25)					
Independent variable	professional development (p1)	problem based learning (p2)	boosting research curiosity (p3)	enhancing social intelligence (p4)	technology based teaching (p5)
Impact on the dependent variable (yp) – d1-d5 coefficients	-0.180 (V)	0.404 (I)	-0.044 (IV)	0.066 (III)	0.106 (II)
SE	0.778	r	0.245	r ²	0.060

7. CONCLUSIONS

The case study based on quantitative analysis of the data collected from students and professors involved in VCLE at the MHET institutions (in South Africa (DUT), Mexico, Brazil, China and the United States) has been presented. The study identifies two sets of parameters from extensive secondary sources and the authors' experiences in teaching with technology in a cross-cultural, multidisciplinary environment. The results should be further explored and expanded through various technology-based teaching and learning approaches and larger surveys among students and professors at different MHET institutions. In general, VCLE fosters creativity among lecturers and students from diverse regions, exposing them to different customs and languages and preparing them for future physical interactions. It promotes a holistic approach to knowledge acquisition and creation, enhancing mutual understanding among participants. This student-centered approach leverages cross-, multi-, and trans-disciplinary methods, boosting research curiosity and real-world problem-solving pedagogy within a global digital classroom. The digital tools such as Slack, Trello, and Flipgrid, e.g., can significantly support both students and professors in VCLE settings. Further research should explore institutional frameworks to facilitate smoother implementation of such projects. Additionally, methods for providing technical and organizational support to students and professors need to be established and tested. Support for overcoming language barriers should also be elaborated. Enhancing VCLE experiences sharing among students and professors at the international level through webinars, conferences, online publications, blogs, and professional networks is crucial. Opportunities for adequate rewards for successful VCLE projects completion should be provided by respective MHET institutions and higher administrative bodies. The study concludes that VCLE significantly enhances maritime education by providing an interactive, immersive learning experience that improves learning outcomes, engagement, and practical skills acquisition. The findings support the integration of VCLE into MHET programs, suggesting that it can address many of the limitations of traditional methods. Upcoming research should focus on long-term impacts and further refinement of VCLE technologies to maximize their benefits.

LITERATURE:

- [1] Aldunate R, Nussbaum M (2013) Teacher adoption of technology. *Comput Hum Behav* 29(3):519–524,
- [2] Baldwin, T. T., & Ford, J. K. (2018). Transfer of training: A review and directions for future research. *Personnel Psychology*, 41(1), 63-105.
- [3] Bauk, S. (2022). Some IT Tools for Virtual Exchange in Higher Education. Proc. of the 26th International Conference on Information Technology (IT), Zabljak, Montenegro, 16-19 February 2022, IEEE, DOI: 10.1109/IT54280.2022.9743527
- [4] Bauk S., Masuku M.B., Concerning international virtual exchange at the maritime high education institution in South Africa, *High Technology Letters* 2022, 28(6), pp. 462-478.
- [5] Brown, A., & Williams, D. (2019). Promoting Active Learning through Virtual Collaborative Environments in Maritime Education. *Journal of Maritime Studies*, 45(3), 123-135.
- [6] Cochrane T, Farley H (2017) Special issue on mobile AR & VR: integrating SOTEL in learning design. *Australas J Educ Technol*, 33(6).
- [7] Di Natale AF, Repetto C, Riva G, Villani D (2020) Immersive virtual reality in K-12 and higher education: a 10-year systematic review of empirical research. *Br J Educ Technol* 51(6):2006–2033.
- [8] Doe, J., & Johnson, P. (2022). Challenges and Opportunities in Implementing Virtual Learning in Maritime Education. *Journal of Educational Technology*, 29(1), 55-70.
- [9] Ghilardi, T., et al. (2019). Enhancing maritime education with virtual collaborative learning environments. *Journal of Maritime Research*, 15(2), 125-136.
- [10] Hansen, L., & Andreasen, J. L. (2020). Teacher training in the digital age: Supporting educators to use virtual learning environments effectively. *Educational Technology Research*, 28(3), 345-358.

-
- [11] Jensen, L. A., & Schröder, K. (2018). Virtual reality in maritime education: Navigating the challenges and opportunities. *Maritime Studies*, 17(4), 302-315.
- [12] Jones, L., & Smith, R. (2021). Leveraging Augmented Reality in Maritime Training Programs. *International Journal of Maritime Technology*, 58(2), 210-225.
- [13] Katsioloudis, P., et al. (2020). The role of AI in enhancing maritime training simulations. *Journal of Applied Sciences*, 19(5), 234-245.
- [14] Konstantopoulos, N., et al. (2021). Cloud-based maritime simulations: A new era in MET. *Maritime Technology Review*, 22(1), 45-59.
- [15] Leong, P., et al. (2020). Technical infrastructure for virtual collaborative learning in maritime education. *Technology in Maritime Education*, 11(2), 112-126.
- [16] Lindfors, M., et al. (2018). Engaging maritime students through virtual reality. *Journal of Nautical Science*, 14(3), 198-207.
- [17] Lutzhoft, M., et al. (2014). Teamwork and collaboration in maritime education: A review. *International Journal of Maritime Education and Training*, 5(2), 89-105.
- [18] Mallam SC, Nazir S, Renganayagalu SK (2019) Rethinking maritime education, training, and operations in the digital era: applications for emerging immersive technologies. *J Mar Sci Eng*. 7(12):428.
- [19] Makransky, G., & Lilleholt, L. (2018). A structural equation modelling investigation of the relationship between presence and learning outcomes in immersive virtual reality. *Computers & Education*, 120, 77-85.
- [20] Munafo J, Diedrick M, Stoffregen TA 2017. The virtual reality head-mounted display Oculus Rift induces motion sickness and is sexist in its effects. *Experimental brain research*, 235(3), 889-901.
- [21] Papachristou, A., et al. (2019). Strengthening industry-academia partnerships in maritime education. *Maritime Policy & Management*, 46(6), 731-749.
- [22] Papanikolaou, K., et al. (2020). Flexible learning pathways in maritime education: The role of virtual learning environments. *Educational Research and Reviews*, 15(4), 101-116.
- [23] Sharma, A., et al. (2021). Cost-effectiveness of virtual collaborative learning environments in maritime training. *Journal of Maritime Economics & Logistics*, 23(3), 289-305.
- [24] Smith, J., Lee, C., & Kim, H. (2020). The Impact of Virtual Reality Simulations on Maritime Navigation Training. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(4), 334-349.
- [25] Sørensen, L., et al. (2017). Enhancing digital literacy among maritime students. *Journal of Maritime Education*, 9(1), 54-65.
- [26] Trondsen, E., & Belk, R. (2019). Future trends in maritime education and training: The role of virtual environments. *Journal of Future Studies*, 23(4), 123-140.



XVI međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITEO 2024

Banja Luka, 27 - 28. 9. 2024. godine



TRACKING (HAZARDOUS) CARGO AT SEA: AN EXPERIMENT

Radoje Džankić, Sanja Bauk

Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia
radoje.dz@gmail.com; bsanjaster@gmail.com

Abstract: *The study offers a model for tracking (hazardous) cargo in maritime transport, with an emphasis on transmitting and receiving real-time data about the cargo's location and state. It is about a new way to transmit and receive data as a result of deploying info-communication technologies (ICTs) that have the potential to increase internet accessibility at sea. This significantly reduces costs and environmental risks. It also enables cargo to be tracked in near real time. Inspired by the lack of reliable sources on tracking (dangerous) materials at sea in real time, we created a device that does just that. We tested it on a fishing boat on its way from the port of Bar in Montenegro to the middle of the Adriatic Sea. The results of the experiment show that the device passed the functionality and efficiency test.*

Key words: *hazardous cargo, ICT, environmental risk, real time tracking.*

1. INTRODUCTION

Hazardous materials that have been properly declared and shipped by sea have made a significant contribution to research on low-risk shipping methods. If there are no safety measures that can set off alarms in real time, it is impossible to handle, store, and separate packaged dangerous materials in appropriate sealed containers in a safe manner. In the event that any of the following parameters—temperature and humidity, flipped cargo, opening container without authorization, real-time tracking—pose a risk to the security of both crew and cargo. In spite of the shipping industry's recognition of dangerous goods as a safety concern, little information is available regarding the level of risk involved and strategies for reducing it. However, this issue can be fixed thanks to recent technological advancements like *Starlink*, a satellite based internet connection that combines gadgets to monitor hazardous cargo and transmit data to a designated control center.

The purpose of the study reported in this paper is to examine the scope and possible advantages of improving and funding real-time tracking and monitoring of hazardous cargo devices at sea for maritime transportation.

2. HAZARDOUS MATERIALS' TRANSPORT RISKS

Hazardous cargo transportation involves a number of difficulties, including packaging (Figure 1), crew education and training level, regulatory compliance, emergency response planning, security, real-time tracking, etc. It is imperative to tackle the obstacles in order to guarantee the

secure and effective transportation of these materials. Because of the possible risks to humans and the environment, transporting dangerous cargo can be difficult. These are a few of the main obstacles:

- 1) *Packaging*: In order to guarantee that hazardous materials are kept contained in radioactive material containers during transportation and do not endanger people or the environment, packing hazardous materials calls for particular supplies and techniques.
- 2) *Employees' education and training*: Every individual working on the transportation process needs to have received professional instruction in handling, packaging, and moving cargo. Particularly, staff members who keep an eye on data originating from instruments fastened to radioactive material-containing barrels. It can be difficult to prevent potential risks related to the materials being transported unless the operator at the workstation understands the data that is received and the risks that could occur.
- 3) *Regulation adherence*: To guarantee the safe transportation of these materials, adherence to all relevant regulations governing the transportation of dangerous goods is essential. It can be difficult to ensure regulatory compliance, particularly in light of the rapidly evolving laws and emerging technologies.
- 4) *Emergency response*: Knowing what information is received and having a well-thought-out emergency response plan are essential in the event of an incident.
- 5) *Security*: It can be difficult to keep hazardous materials safe from temperature rise, tampering, flipping, moving, and other security risks, particularly when they are in transit.
- 6) *Environmental effects*: There is a chance that the transportation of hazardous materials will have a big effect on the environment. stopping spills and making sure the substance doesn't endanger the environment.
- 7) *Real-time tracking*: One of the main problems with maritime transportation is not being able to know the position of cargo in real time.

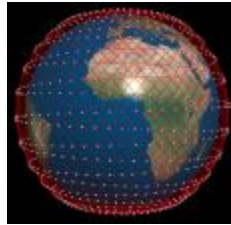


Figure 1. Radioactive material containers – casks (Source: Web).

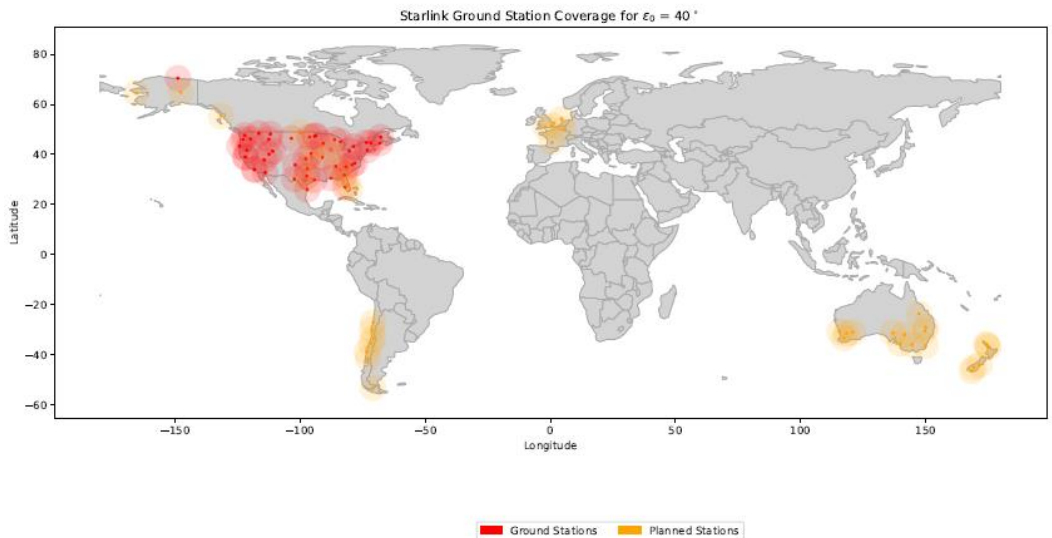
3. INTERNET OF SHIPS (IOS) AND CONNECTIVITY ISSUES

The most prevalent issue at sea, internet connectivity, can be fixed thanks to the Space X program of the low-satellite network *Starlink* (Figure 2). The first constellation of tiny satellites to use low Earth orbit - roughly 550 kilometers above the surface of the planet - is called *Starlink*. This implies that thousands of internet-capable satellites are in low Earth orbit, offering broadband and internet services. The majority of satellite internet services available today originate from geostationary satellites, which orbit the Earth at a distance of 35,786 kilometers. Real-time tracking issues with that connection type include latency, high cost, and unreliable

connectivity. There are now 5,800 satellites in the *Starlink* system, with a planned total of almost 12,000 satellites. This technology can be used to track hazardous cargo at sea with very little cost and to provide real-time tracking of this type of cargo with a significant reduction in risk. While this is currently the only program of its kind in the highly competitive world of technology, more of these kinds of systems are likely to come soon.



2.(a)



2.(b)

Figure 2. Starlink constellation (a); Ground and planned stations (Source: Web).

4. A PROPOSED DEVICE FOR REALTIME TRACKING

We decided to conduct our own experiment because there was a dearth of information regarding the tracking of containers containing dangerous materials (particularly nuclear material) in maritime traffic. Therefore, this paper proposes a practical „Do It Yourself“ approach for building a real-time tracking device for hazardous cargo. This strategy aims to address the ongoing search for different solutions to problems of this nature, which can be costly and potentially hinder safe transportation.

The proposed device is made up of a Raspberry Pi 4 model (6GB RAM, 64GB storage capacity) and a lithium-ion battery power source that can provide a UPS for the Raspberry Pi. The

Raspberry Pi functions as a central computer with connections to a number of sensors, including the crucial GSM and GPS modems as well as temperature, humidity, tilt and light sensors (Figure 3).

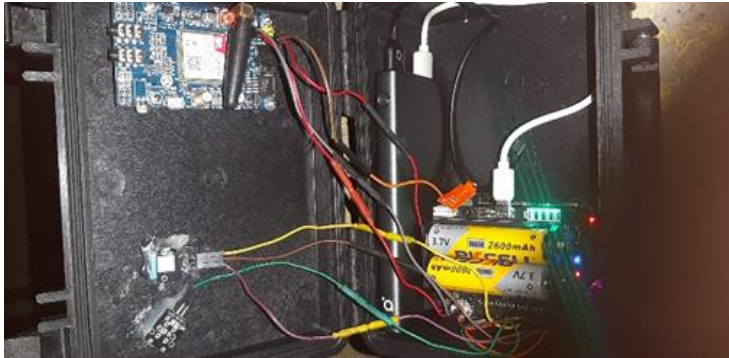


Figure 3. Within the real-time tracking apparatus (Source: Own research).

The server side is where data gathering, processing, alarm setup, and triggering are organized. The following sensors are connected to the main computer (a Raspberry Pi) for scanning temperature, humidity, lightness, tilt or motion, and time. The parts that are needed are affordable and widely accessible. These components function as an effective connection in both virtual and real environments because of the applied physical computing concept.

The sensor limits are set as follows for the experiment's purposes: If the container deviates from its perpendicular position by more than fifteen (degrees), the tilt sensor is preconfigured to sound the alarm. The humidity and temperature sensors are programmed to continuously monitor the humidity and temperature inside the container. The sensors transmit data in degrees Celsius and percentages to the server. The system sounds a light alarm if the container is opened while being transported. Lux is used as a unit for light sensors. It is considered that the container is closed and has a dark interior while it is being transported. The alarm is set off by an unintentional opening of the container door while traveling. Generally speaking, the alarms alert the dispatcher to unwanted changes in the sensor's parameters.

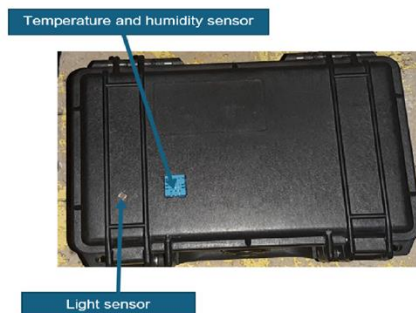


Figure 4. Gadget from the exterior (Source: Own research).

The instrument measures 16 cm in length, 12 cm in width, and 6 cm in height. It is installed inside the door of the container to minimize interference and prevent damage during the journey (Figure 4).

5. THE EXPERIMENTAL RESULTS

The digital stamp (ID), geolocation, temperature (Sensor 1), humidity (Sensor 2), lightness (Sensor 3), inclination or tilt (Sensor 4), and time (Sensor 5) data are all gathered during the experiment. The instrument worked well. It was tested by opening and closing the container the gadget was placed in. We intentionally set off alarms in order to test the device in real time and record the opening and closing times. When loading and unloading, the tilt sensor responded. It transmitted an output of "zero" if the tilt limit was exceeded. If not, an output of "one" was sent. Every piece of recorded data has a "ID" (time stamp).

As previously stated, the container was moved from the Port of Bar in the Republic of Montenegro to the Italian border via fishing boat. The container was situated on the deck. We were able to shed light on the signal's quality as well as the precision of the container's location and its load's status.

The following figures (Figures 5-9) show the data that the sensors along the route collected.

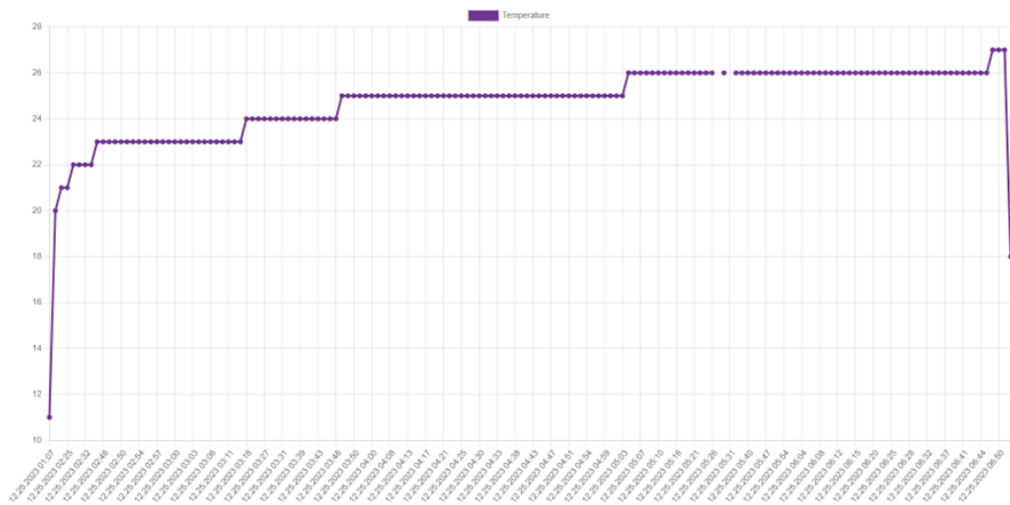


Figure 5. A sample of data from a temperature sensor (Source: Own research).

The device has a background information communication system and a protected graphical interface. Figure 9 shows the path of the fishing boat carrying a container from the Port of Bar (Montenegro) to the middle of the Adriatic Sea, where the fishing boat stopped and returned to the port of origin after fishing. The application for integrating the software data and displaying it on the map is made in Python. The device was previously tested in road traffic on the Subotica - Belgrade (Serbia) and Belgrade - Bar (Serbia - Montenegro) routes. The results were also

good. This device has recently been patented in Montenegro (Patent No. P-2023-94; G-06Q10/083).

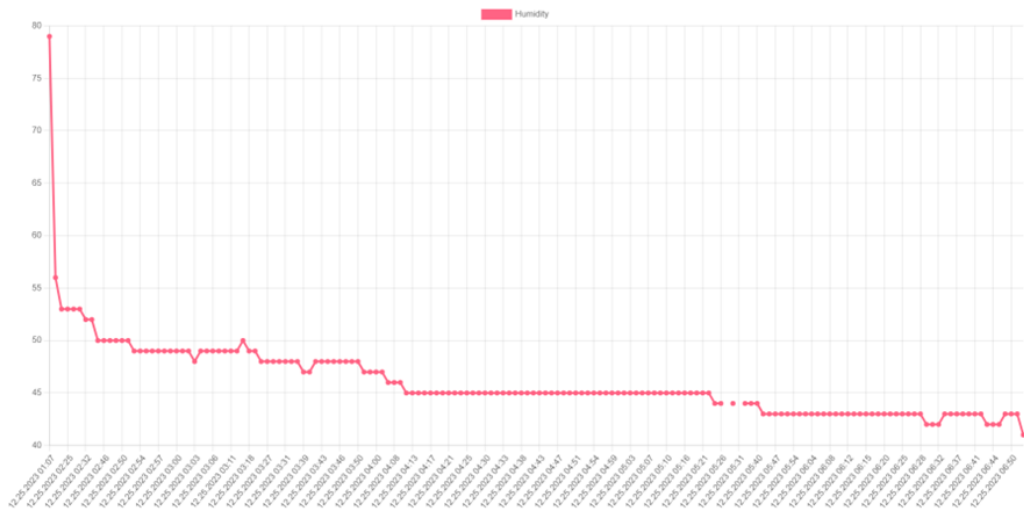


Figure 6. A sample of data from a humidity sensor (Source: Own research).

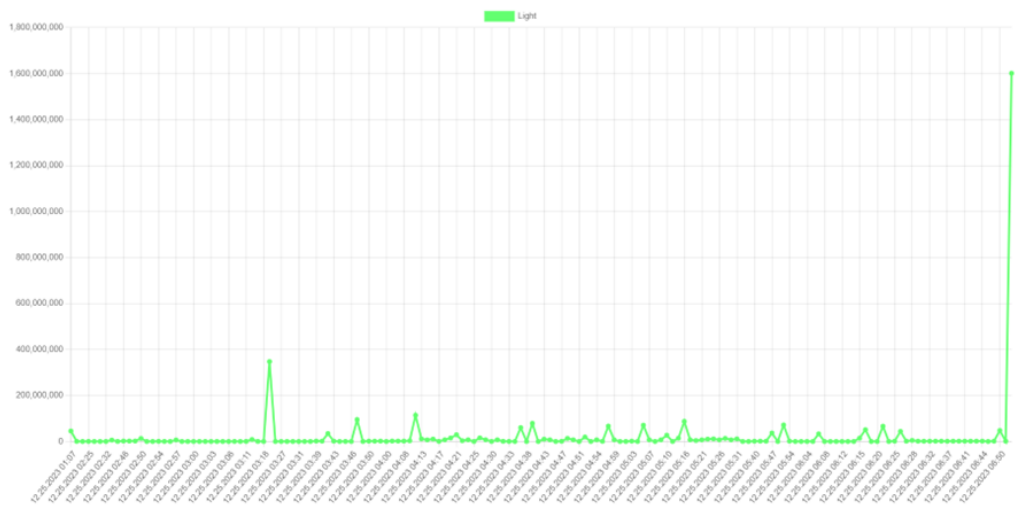


Figure 7. A sample of data from a light sensor (Source: Own research).

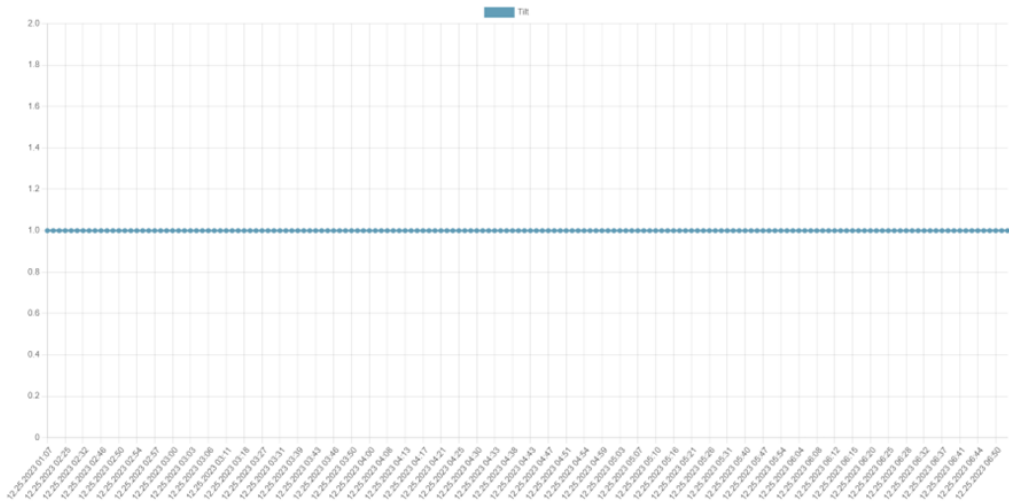


Figure 8. A sample of data from a tilt sensor (Source: Own research).



Figure 9. Web application for tracking the container (Source: Own research).

6. CONCLUSION

An electronic device and its back-end information-communication system for tracking a freight container, which might carry hazardous cargo, are presented in the article. The dispatcher and end users are shown the container's route as well as its near-real-time temperature, humidity, light, and tilt (motion) states. The hardware is centered around the Raspberry Pi, and Python is used to create the secure web application and facilitate dispatcher or user and database communication. In reference to more sophisticated methods of tracking containers at sea, it should be underscored that the maritime cluster prioritizes costs and benefits when implementing new technologies. As a result, the maritime industry is currently experiencing significant challenges with the application of smart technologies based on artificial intelligence

(AI), blockchain and Physical Internet (PI) technologies. Another factor contributing to this lagging process in terms of digitalization is - the maritime industry's general ignorance of the benefits and drawbacks of digital technologies. Furthermore, laws governing digitalization in maritime sector must be created globally. It is necessary to address asymmetric information sharing in both upstream and downstream maritime supply chains. Important participants in international marine trade are concerned about all of these, but those further down the supply chains are even more so. Considering all of this, it will take some time for smart technologies like blockchain, AI, and PI to be widely adopted and used for tracking and tracing freight containers, especially those carrying hazardous cargo. It will require time, a better degree of expertise and corporate culture, and the right kind of involvement from all pertinent parties. Therefore, the experimental device for freight container movement and status tracking that is proposed here is an inexpensive, "do-it-yourself" device, which can encourage more and deeper research in this field, covering a variety of safety and security threats and countermeasures at sea.

LITERATURE:

- [1] TGL (Think Global Logistics). What are Smart Containers? The Rise of Smart Containers. Available online: <https://www.youtube.com/watch?v=-Ry-0HermnE> (accessed on 06/11/2023).
- [2] BOXXPORT GmbH. What are Smart Containers? Available online: <https://www.youtube.com/watch?v=6YtNAYtHBIA> (accessed on 11/11/2023).
- [3] Kollman, J. Smart containers key to improved supply chains. Available online: <https://www.ingwb.com/progress/insights-sustainable-transformation/smart-containers-key-to-improved-supply-chains> (accessed on 11/11/2023).
- [4] Costamare Inc. Container Facts. Available online: https://www.costamare.com/industry_containerisation#:~:text=Today's%20largest%20container%20ship%20can,a%20typical%20six%20story%20building. (accessed on 30/10/2023).
- [5] World Nuclear Transport Institute. Fact sheet: Quick facts on the transport of Nuclear Fuel Cycle Transport. Available online: <https://www.wnti.co.uk/wp-content/uploads/2021/01/Quick-Facts-on-the-Transport-of-Nuclear-Fuel-Cycle-Transport.pdf> (accessed on 30/10/2023).
- [6] PNTL. PNTL Ship Tour. Available online: <https://www.pntl.co.uk/our-fleet/pntl-ship-tour/> (accessed on 30/10/2023).
- [7] Tsai, H. C. et al. Applying RFID technology in nuclear materials management. *Packaging, Transport, Storage & Security of Radioactive Material*, 2008, 19(1), pp. 41-46.
- [8] Tsai, H. C. et al. Demonstration (DEMO) of radiofrequency identification (RFID) system for tracking and monitoring of nuclear materials. *Packaging, Transport, Storage & Security of Radioactive Material*, 2010, 21(2), pp. 91-102.
- [9] Liu, Y.Y. et al. ARG-US Remote Monitoring Systems for Enhancing Security of Radioactive Material. Available online: https://rampac.energy.gov/docs/default-source/tracking/CN269-319_Liu_101418.pdf (accessed on 30/10/2023).
- [10] Liu, Y.Y.; Lee, H.; Craig, B. & Shuler, J.M. Smart Drum Technology for Radioactive and Other Hazardous Materials – 18273. In the Proceedings of WM2018, Phoenix, AZ, 18-22 March 2018. Available online: <https://rampac.energy.gov/docs/default-source/rfid/rfid-wm2018.pdf> (accessed on 31/10/2023).
- [11] Liu, Y. & Shuler, J. ARG-US Remote Monitoring Systems for Enhancing Safety, Security and Safeguards (3S) of Nuclear and Other Radioactive Materials. *RFID Journal Virtually Live*, Orlando, FL, 30 September – 1 October 2020. Available online: <https://rampac.energy.gov/docs/default-source/transportation/RFIDJ20-Liu.pdf> (accessed on 31/10/2023).
- [12] ARG-US: The Watchful Guardian. Available online: <https://www.youtube.com/watch?v=b7Pr6KQ7WQQ> (accessed on 31/10/2023).
- [13] Watanabe, F. et al. Study of Tracking System for Radioactive Material Transport. Available online: <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/20773349> (accessed on 30/10/2023).
- [14] Bauk, S. Modelling Radioactive Materials Tracking in Sea Transportation by RFID Technology. *TransNav – International Journal on Maritime Navigation and Safety of Sea Transportation*, 2020, 14(4), pp. 1009-1014.
- [15] Bauk, S.; Dzankic, R. Model of Tracking Radioactive Cargo in Sea Transport. In the Proceedings of the 10th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO'2021), Budva, Montenegro, 7-10 June 2021.

- [16] Bauk, S.; Radulovic, A.; Dzankic, R. Physical Computing in a Freight Container Tracking: An Experiment. In the Proceedings of the 12th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO'2023), Budva, Montenegro, 6-10 June 2023.
- [17] Ahmed, F. et al. Comparative Study of Seamless Asset Location and Tracking Technologies. *Procedia Manufacturing*, 2022, 51, pp. 1138-1145.
- [18] Fahim, P. B. M. et al. An information architecture to enable track-and-trace capability in Physical Internet ports. *Computers Industry*, 2021, 129, 103443.
- [19] Baygin, M. et al. A blockchain-based approach to smart cargo transportation using UHF RFID. *Expert Systems with Applications*, 2022, 188, 116030.
- [20] Bauk, S. Maritime Blockchain Conceptual Framework and Blockshipping Application. In the Proceedings of the 11th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO'2022), Budva, Montenegro, 6-10 June 2022.
- [21] Feng, Y. et al. Smart stacking for import containers using customer information at automated container terminals. *European Journal of Operational Research*, 2022, 301(2), pp. 502-522.
- [22] Python (programming language). Available online: [https://en.wikipedia.org/wiki/Python_\(programming_language\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Python_(programming_language)) (accessed on 30/10/2023).
- [23] O'Brien, J. A.; Marakas, G.M. *Management Information Systems*, 10th ed.; McGraw-Hill Irwin: New York, NY, 2011; pp. 555-571.
- [24] Valacich, J.; Schneider, C.; Hashim, M. *Information Systems Today – Managing in the Digital World*, 9th ed.; Pearson Education Limited: London, UK, 2023; pp. 424-475.



XVI međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2024

Banja Luka, 27 - 28. 9. 2024. godine



BLOCKCHAIN IN MARITIME: PROS AND CONS

Lindani Handsome Ntshangase¹, Sanja Bauk²

¹ Durban University of Technology, Durban, South Africa

² Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia
ntshangaselindani@gmail.com; bsanjaster@gmail.com

Abstract: Blockchain is a cutting-edge digital technology and concept that was initially used in the maritime trade at the start of the twenty-first century. The maritime blockchain platform and shared ledger have the capacity to be applied to tracking and tracing of trade documentation and cargo, sea traffic management, port automation, crew and assets' certifications, etc. Though this technology has immense potential, it is still in its early stages of development, and is yet to gain mainstream implementation and adoption in the global maritime sector. This paper explores how the maritime industry is affected by blockchain, providing insight into how this transformative technology might improve efficiency, traceability, and transparency in the intricate network of maritime operations in the near future.

Key words: blockchain, maritime, pros, cons, PESTEL method.

1. INTRODUCTION

Blockchain is an emerging technology with a number of advantages in an increasingly digital world. It is a distributed ledger technology that captures and safe data in digitally. The data is a distributed set of transactions that is updated and reviewed continuously. The technology is secure due to its encryption capabilities and lack of third-party involvement or extra costs during transaction execution. Since its inception in 2008, blockchain technology has captivated stakeholders' interest and capital. This ground-breaking technology was first intended to serve as the foundation for cryptocurrencies, but it has now grown beyond that original use and attracted substantial interest from a variety of businesses (Farah et al., 2024). Supply chain management, logistics, smart contracts, cybersecurity, and the Internet of Things (IoT) are among the notable applications of blockchain technology.

2. BLOCKCHAIN APPLICATIONS IN MARITIME SECTOR

Though most people are unaware of it, shipping is a necessity for everyone on the planet! The maritime sector is a conservative one that understands the value of maintaining the calibre of its operations over a long time. The shipping sector is interconnected with suppliers, customers, and sellers worldwide, as well as to the oceans, the land, and the air. However, we cannot speak about global commerce without considering the logistics and operations that empower it (TradeLens, 2021).

A lot of products that are ordered today, when a buyer orders them or goes to a local retailer, are delayed due to the difficulties that the supply chain can encounter. Additional dimensions, regionalisation, huge trade tensions and the like make supply chains very complex and robust. When moving a container from one country to another, it has to go through customs, ports, container terminals, and ultimately to the customer, and everyone in the supply chain needs access to the shipping information and to share these information with others along the journey. The shipping industry thus needs to be very well connected (Figure 1).

Twenty to thirty parties, or actors, participate in a typical transaction from all over the world. Each party must adhere to a set of procedures that include submitting data in various formats, fields, and time frames. This leads to inefficiencies in the workflow of the entire supply chain, which are regrettably passed on to the customers at the end of the chain. For this reason, a number of shipping lines, including Maersk, along with the International Business Machines Corporation (IBM), which has operations in more than 170 nations, have teamed together to develop a platform known as TradeLens. This platform has an overwhelming potential to address the problems that have plagued the global supply chain for quite some time. This platform has not been in use since the beginning of the previous year for various business-related reasons, but the technology is in place, and the entire system will most likely soon be back. In the maritime sector, key players are slow to adopt new technologies, and network player confidence is far more important than safety. Blockchain in the maritime business and industry is an unorthodox technology and includes the involvement of cryptocurrencies. The stakeholders in this environment are not prepared to share their information regarding their customers, supplies and cargoes easily accessible to the public. Over time, technology has advanced and become more standardized, so trust is now more important to supply chain stakeholders than interoperability (Bauk, 2022).

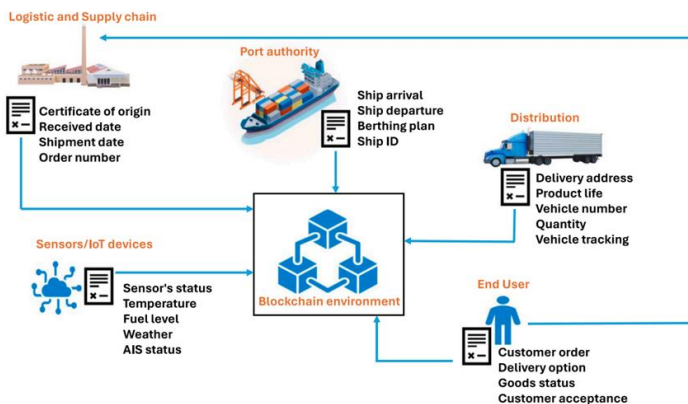


Figure 1. Blockchain in maritime sector: A sketch (Farah et al., 2024).

3. BLOCKCHAIN BENEFITS

At present supply chain participants lack awareness, understanding, and experience with blockchain technology. Thus, programs for instruction, training, or the development of people are necessary at the administrative, operational, and regulatory levels. Unlike when we connect to each of the 15 shippers directly, e.g., which is expensive, time-consuming, and adds little

value, TradeLens just requires us to join to the platform, and all of the shippers simply need to connect to the platform.

Enhance security. The data in maritime is important and sensitive, and blockchain has the power to drastically alter user's perspective on this vital information. The blockchain assists in the prevention of fraud and illegal conduct by producing a record that is unchangeable and end-to-end encrypted. By employing permissions to restrict access and anonymizing personal data, one can handle privacy concerns on the blockchain. Information is stored across a network of computers rather than at a single server, making it more difficult for hackers to access data and cause a harm.

Instant traceability. Every organization needs to maintain a separate database in the absence of blockchain. Due to the distributed ledger technology used by blockchain, data and transactions are recorded consistently across numerous sites. Full transparency is ensured since all network users with authorized access view the same data simultaneously. Every transaction is time- and date-stamped and irreversibly recorded. Members can see the complete transaction history thanks to this feature, which also practically removes the possibility of fraud.

Increased efficiency and speed. Conventional paper-intensive procedures take a lot of time, are prone to human mistake, and frequently call for outside mediation. Blockchain simplifies these procedures, allowing transactions to be completed more quickly and efficiently.

Automation. Transactions can be automated using smart contracts, which will expedite the procedure and boost your productivity even further. The transaction or process proceeds automatically to the next stage when the pre-established requirements are satisfied. Smart contracts lessen the need for human intervention and third parties to confirm that the provisions of the contract are being fulfilled. For instance, in the insurance industry, the system automatically settles and pays claims whenever the customer submits the required papers.

4. BLOCKCHAIN CONCERNS

Stakeholders are often less eager to invest in blockchain technology since it necessitates technological integration and has associated operational, legal, and training costs (Figure 2). Given that the maritime industry has historically depended on its legacy, this is especially true. Furthermore, there appears to be a mismatch between the variety of cutting-edge methods that are accessible in information security and software engineering research and practice, and what practitioners in the blockchain space propose.

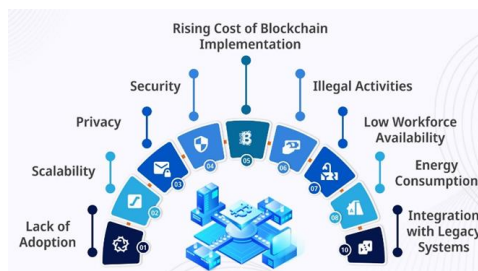


Figure 2. Blockchain concerns: A conceptual scheme (Vandamme, 2019).

Aside from this, larger shipping companies are the ones that stand to gain the most from blockchain technology; however, their blockchains would need to be extremely complex in order to meet the demands of their wide range of players, requiring substantial financial outlays. Other smaller parties in the global supply chain might be harmed by this since they would be less able to finance the technology.

5. THE PESTEL ANALYSIS

This PESTLE (Political, Economic, Social, Technological, Legal, and Environment) analysis aims to analyse and evaluate the current position of blockchain technology in today's South African maritime industry. The outcomes will indicate the drivers and challenges for this new technology and its potential future situation in the South African context.

Political dimension. The main benefit of blockchain when applied to politics is security, and one of the key drivers for change is government transparency (Vandamme, 2019). Supply chains have to be flexible, innovative, and transparent in order to keep up with cutting-edge technology and stay competitive in the marketplace (Awwad et al., 2018). The traceability of products across a complex supply chain might be hugely improved by deploying blockchain into the supply chain management. Stakeholders in the supply chain (shipping companies, ports, banks, customs, retailers, etc.) exchange and transfer all kinds of information with each other. Consequently, reliance is a crucial component of the supply chain management (Cruz Cruz, 2019). Unfortunately, there is a possibility of fraud in supply chain systems, and falsification of documents regarding the originality and quality of products often takes place. Blockchain has become a technology, which can ensure significant benefits and eliminate opportunities for fraud. Ensuring chain of custody and traceability via blockchain allows organizations to demonstrate their products' provenance, integrity, and compliance with quality standards.

Economic dimension. A main drive for companies who are looking to invest in blockchain technology is the price of expenses in comparison to what they pay currently. Blockchain ultimately offers safer methods of transactions and banking at reduced costs. Due to the way this emerging technology has been created it does not require a third-party to over-see the transactions. Therefore, the role of a middle man (i.e., bank, lawyer, agent, etc.) is unnecessary, reducing the costs of employment which contribute to the overall cost of a transaction. Due to the increasing interest in blockchain, more countries and companies are investing in it to find new innovative solutions for a smarter future. Companies and banks in South Africa should look at investing in blockchain due to its ability to offer faster and cheaper methods of international transactions, which is at the core of the maritime businesses.

Other maritime blockchain use cases that have been identified from various literatures include electronic Bill of Lading (eBL), ship operations, marine insurance, and ship finance (Farah et al., 2024). Thus, thanks to blockchain, maritime systems can enhance transparency, traceability, cost-effectiveness, supply chain efficiency, and environmental friendliness.

Despite the excellent security measures on the blockchain platforms, there have been a few noteworthy breaches, like the ransomware attack that Maersk company experienced in 2017 that cost the company almost \$200 million in cryptocurrency.

Social dimension. Because blockchain can be used in so many various domains of work including the maritime industry in South Africa, there is a great deal of anxiety over its acceptance. Millions of jobs are immediately at risk because of it. As mentioned above, blockchain was created in order

to find a faster and cheaper way of making transactions and storing information. There would no longer be the need for bureaucracy. The maritime industry will face a dramatic change and there could be a huge backlash toward the high level of redundancy, as well as many people having to learn about the way blockchain works in their field.

Powerful people who were previously able to hide or cover up illegal activities will now be held accountable because of blockchain's inherent transparency. Because of this, many companies and CEOs will be hesitant to accept it and may even criticize it if it exposes their corruption (Vandamme, 2019).

Additionally, the degree of public awareness of blockchain is low, which may have a big impact on how widely adopted it is. Currently, blockchain technology is in the early adopter's stage of innovation. However, for it to reach a peak in mass consumerism, it must first be acknowledged by the population. Many of the public have little knowledge or understanding to what blockchain is and the diverse resources it has to offer. All people really know of blockchain is bitcoin, but there is so much of blockchain yet to be addressed (Radocchia, 2017). There needs to be some dissemination of knowledge in order for blockchain technology to advance and for stakeholders to trust it.

Technological dimension. Because of how quickly the maritime sector is becoming digitalized, blockchain technology is expected to have a much greater impact on the ecosystem in the coming decades. Blockchain acts as a platform for the advancement of the technological industry because of its adaptability to shifting technological standards. Given how quickly technology is developing, there is a great deal of interest and desire for blockchain technology to open the door to a new phase of technical innovation. One of the main drivers of the technology is the quality and authenticity that blockchain offers to governments and businesses that wish to implement it. The characteristics of blockchain that must be underscored are privacy, security, immutability, transparency, reliability, and process integrity (Blechsmidt, 2018).

Despite this, there are a lot of challenges with these technologies, such as high energy consumption, complexity, scalability, and resilience; they also bring up issues with data security and regulations.

Environmental dimension. An alternative to conventional paper contracts is provided by smart contracts. By implementing these smart contracts, industries such as the maritime sector can address the waste problem and cut down on paper consumption. Blockchain helps reduce the amount of paper used in the maritime industry, but it also makes the problem of excessive electricity and energy consumption worse. Thus, this contradicts the requirement for fresh, energy-saving resources (Marr, 2018). This could act as a deterrent to investing in blockchain adoption and implementation given the escalating worries about environmental contamination and global warming.

6. CONCLUSION

This article gives a quick rundown of the benefits and drawbacks of blockchain technology in the maritime industry, with an emphasis on the potential for South Africa as a developing nation. The PESTEL elements of the process of technological innovation application and success were specified. The article gave the information on the advanced blockchain technology and how the maritime business and industry in South Africa can benefit from it. Rather than focusing solely on blockchain's advantages, significant barriers to its widespread adoption were

noted. These impediments include the unwillingness of maritime stakeholders to adopt new technology, the absence of laws and regulations, the ignorance of the stakeholders regarding the technology, and the lack of trust amongst the various parties involved in maritime supply chains. More thorough research is needed to precisely evaluate the balance between pros and cons regarding mainstream blockchain implementation in emerging economies, like South Africa, as this is an understudied area of digital transformation in the maritime sector.

LITERATURE:

- [1] Awwad, M. A., Kalluru, S. R., Airpulli, V. K., Zambre, M. S., and Jain, P. 2018. Blockchain technology for efficient management of supply chain. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Washington DC, USA, September 27-29, 2018: 440-449.
- [2] Bauk, S. 2022. Maritime Blockchain conceptual framework and block shipping application. 11th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), 6-10 June, Budva, Montenegro. Available: <http://dx.doi.org/10.1109/MECO55406.2022.9797082>
- [3] Bauk, S., Ntshangase, L. H. 2023. Blockchain implementation barriers in maritime: A case study based on ISM and MICMAC techniques. *Journal of Maritime Research*, 20(3): 72-80. Available: <https://www.jmr.unican.es/index.php/jmr/article/view/736/766>
- [4] Bauk, S., Ntshangase, L. H. 2023. Maritime Blockchain constraints' analysis by ISM and MICMAC techniques. Proceedings of the 12th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), Budva, Montenegro: 1-6. Available: <http://dx.doi.org/10.1109/MECO58584.2023.10155037>
- [5] Blechschmidt, B. 2018. Cognizant Reports - Blockchain in Europe: Closing the Strategy Gap. Available: <https://www.cognizant.com/whitepapers/blockchain-in-europe-closing-the-strategy-gap-codex3320.pdf> (Accessed 15 June 2024).
- [6] Cruz Cruz, C. 2019. Blockchain for transportation: How can Blockchain technology improve the transportation industry? University of British Columbia. Available: <https://sustain.ubc.ca/about/resources/blockchain-transportation-how-can-blockchain-technology-improve-transportation> (Accessed 6 May 2024).
- [7] Farah, M. B et al. 2024. A survey on Block chain technology in the maritime industry: Challenges and future perspectives. *Journal of Future Generation Computer Systems*, 157(1): 618-637.
- [8] Marr, B. (2018). The 5 Big Problems with Blockchain Everyone Should Be Aware of. Available: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/02/19/the-5-big-problems-with-blockchain-everyone-should-be-aware-of/#422685171670> (Accessed 15 June 2024).
- [9] Ntshangase, L.H., Bauk, S. 2024. Blockchain applications and cybersecurity threats: A review. Proceedings of the 28th International Conference on Information Technology (IT), Žabljak, Montenegro, 21 – 24 February, doi: 10.1109/IT61232.2024.10475777
- [10] Pejović, Č. and Lee, U. 2022. Maritime Blockchain conceptual framework and blockshipping application. *PPP god. 61* (2022), 176: 31–62.
- [11] Pertoniho, F. X. S. 2019. The state of the art of the electronic bill of lading. Available: <https://f1000research.com/articles/11-991> (Accessed 15 June 2024).
- [12] Radocchia, S. 2017. What's holding Blockchain Back from Large-Scale Adoption? Available: <https://www.forbes.com/sites/quora/2017/09/21/whats-holding-blockchain-back-from-large-scale-adoption/#779722b7230> (Accessed 15 June 2024).
- [13] Tradelens. 2021. Digital trade - Why ocean carriers are embracing TradeLens (Video file). Available: https://www.youtube.com/watch?v=YDOT_pIuksE&t=1s (Accessed 4 June 2024).
- [14] Vandamme, Emilia, The Future of Blockchain Technology (May 1, 2019). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3463178> (Accessed 15 June 2024).
- [15] Wong, J. C. 2018. Facebook says nearly 50m users compromised in huge security breach. Available: <https://www.theguardian.com/technology/2018/sep/28/facebook-50-million-user-accounts-security-berach> (Accessed 15 June 2024).



XVI međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2024

Banja Luka, 27 - 28. 9. 2024. godine



STUDY OF TRAIN TRAFFIC PARAMETERS IN SCENARIOS OF VIRTUAL COUPLING APPLICATION

Efim Rozenberg¹, Alexey Ozerov²,

^{1,2} JSC "Research and Design Institute for Information Technology, Signalling and Telecommunications in Railway Transport" (JSC NIIS), Moscow, Russia

² a.ozarov@niiis.ru

Abstract: With the ever-growing freight turnover at the Eastern site and limited infrastructure, new principles of train separation allowing for capacity increase are in high demand. The most promising option at the moment is train separation based on virtual coupling technology, which, according to calculations, can provide an increase in capacity of up to 20% compared to the legacy technology of using rigid coupling. At the same time, there are no methods for determining the use cases for applying the virtual coupling technology for specific sections of the railway supported by mathematical calculations at the moment. The article discusses five use cases for virtual coupling for sections with speed limits and presents graphical estimates of capacity for various speeds and lengths of speed limit sections. It is concluded that virtual train coupling is advantageous for capacity increase on sections with infrastructure constraints, and further research is needed to justify the practical methods of its application.

Keywords: train separation, radio channel, virtual coupling, capacity.

Increasing infrastructure capacity with unconditional assurance of traffic safety is the unvarying strategic goal of the railway industry. It is achieved through introduction of modern train separation systems [1]. One of the promising train separation technologies is virtual coupling (VC). It is a connection of locomotives of successive trains via a radio channel, in which the following ("slave") train is driven taking into account information about the speed and cab signalling aspects of the first ("master") train [2].

A lot of work has been done at Russian Railways in regard to practical testing of the virtual coupling technology and considerable experience has been accumulated. For the first time, the virtual coupling technology was tested in 2019 on a 400 km section of the Far Eastern Railway Khabarovsk – Ruzhino [3]. To date, about 30,000 trips in the "virtual coupling" mode have been made, while the technology implementation range is expected to be about 6,000 km by the end of 2023. The virtual coupling technology is in high demand throughout the entire Eastern site. Calculations showed that the introduction of the virtual coupling technology can increase the capacity of the railway line by almost 20% relative to the existing traffic schedule using dual trains [4].

Naturally, like any new technology, it needs in-depth study, including taking into account possible infrastructure constraints and various options for its application. At JSC NIIS, such work is carried out as part of an integrated approach to capacity increase problem, including using computer simulation tools [5].

It should be noted that on the railways of other countries, this technology has not yet been fully developed technically and is not used in mainline railway transport, but is being studied in research projects and works as a promising option for the development of the train separation system based on radio communication of the ERTMS Level 3 system type [6-10]. A number of European studies have analyzed the capacity impact of a possible ERTMS based on virtual coupling versus a typical ERTMS Level 2, and a possible future ERTMS Level 3 with moving block. The simulation results indicate a significant potential of this technology [11-13].

There are two options for the virtual coupling implementation: the organization of a “train-train” radio channel data exchange or data exchange through the radio block centre (RBC). The Russian Railways currently uses the first option, since it does not require a large-scale construction of radio block centres [14].

This article presents some capacity estimates for various virtual coupling use cases when trains move on sections with speed limits (see Fig. 1).

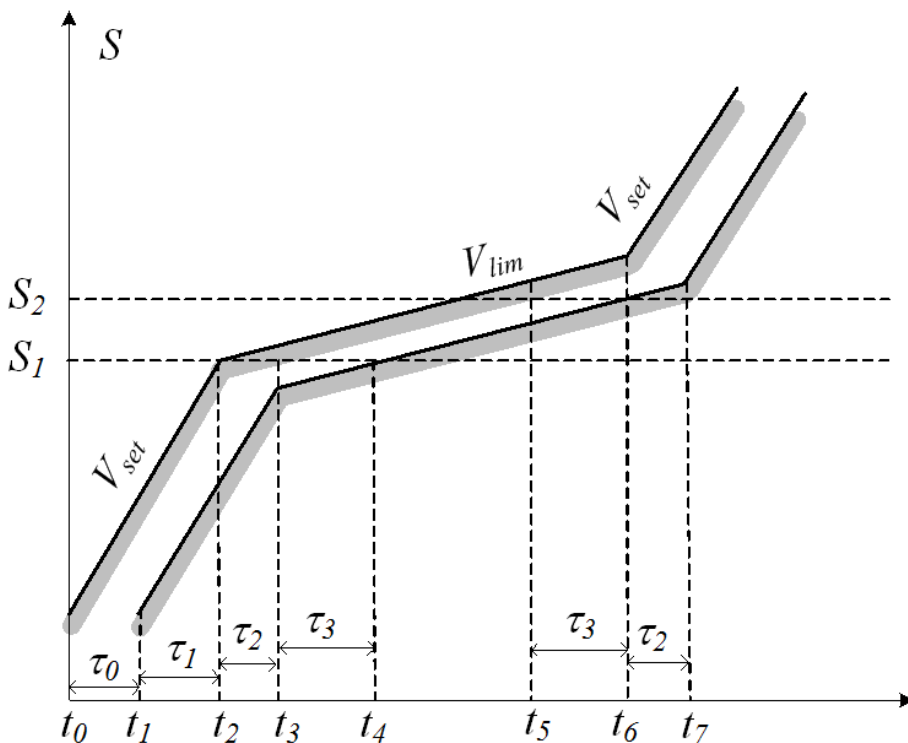


Fig. 1. Time-distance graph for trains running on a speed limit track section

The figure shows:

t_0 —the moment the first train starts moving;

t_1 — the moment the first train starts moving;

t_2 — the moment the first train reaches the border of the speed limit section - the moment the first train starts moving at a limited speed;

t_3 — the moment the second train starts moving at a limited speed;

t_4 — the moment the second train reaches the border of the speed limit section;

t_5 — the moment the first train leaves the speed limit section – the moment the first train is halted from moving at a set speed;

t_6 — the moment the first train starts moving at a set speed after leaving the speed limit section;

t_7 — the moment the second train leaves the speed limit section;

S_1 — the start of the speed limit section;

S_2 — the end of the speed limit section;

V_{lim} — limited speed;

V_{set} — set speed,

and the corresponding time intervals τ_0, \dots, τ_3 .

The grey shading represents the train's length L_T .

Figure 1 shows time interval $\tau_3 = [t_5, t_6]$, when the first train has to be halted from moving at a set speed after leaving the speed limit section.

We assume that the considered nature of the movement is symmetric: the relative position of trains in front of the speed limit section corresponds to the relative position of trains after the speed limit section. This means that the desired value is determined by the equations:

$$\tau_3 = t_6 - t_5 = t_4 - t_3,$$

which makes the consequent analysis easier reducing it to the following:

– firstly, it is necessary to determine the time interval $\tau_2 = t_3 - t_2$, when the second train reduces the headway from Z_{set} to Z_{min} , which can be described as follows:

$$L + Z_{set} + V_{lim} \cdot \tau_2 = L + Z_{min} + V_{set} \cdot \tau_2;$$

– determine the required quantity:

$$\tau_2 = \frac{Z_{set} - Z_{min}}{V_{set} - V_{lim}}.$$

It should be noted that at certain ratios of times, speeds, established headways and the length of the speed limit section $S_{lim} = S_2 - S_1$ situations are possible when the second train does not have

time to reach the limit value Z_{min} (see Fig. 2). In this case (due to the symmetry of the movement) there is no need to halt the first train from moving at a set speed after it leaves the speed limit section.

Formally, this outcome is described by the following relation:

$$Z_{set} - (V_{set} - V_{lim}) \cdot \tau_0 + V_{set} \cdot \tau' > Z_{min}, \quad (1)$$

where τ' is the time during which the first train moves at a set speed V_{set} until the moment the second train reaches the speed limit section.

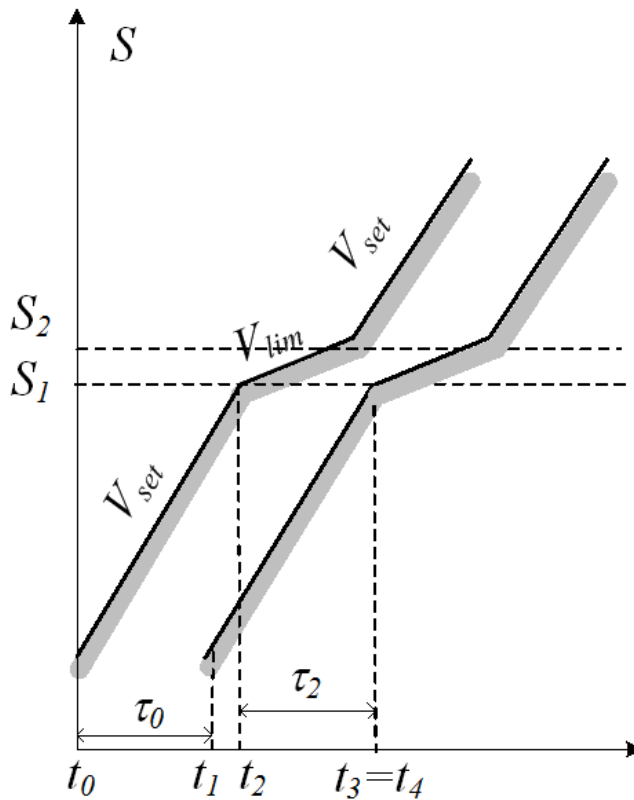


Fig. 2. Time-distance graph for trains running on a speed limit track section when the introduction of a time delay is not required

The last relation (1) takes into account that $\tau_0 = \tau_2$, since the time interval of trains leaving the speed limit section corresponds to the interval of their arrival at the border of the speed limit section.

In other words, if the inequality (1) is true, time delay τ_3 takes on a value of zero.

For subsequent comparison of the estimates obtained, the headway in the absence of speed limit sections and virtual coupling (reference case) is determined, as well as in cases where there are speed limit sections and various virtual coupling use cases - cases 1–5.

Reference case. The initial data for the reference case are:

- no speed limit sections,
- trains depart at t_{set} min. intervals,
- no virtual coupling.

The number of trains per day (22 hours) is determined by the known relation [15] as follows:

$$n = \frac{T}{I}, \quad (2)$$

where T is the time in hours; I is the time interval between trains in hours.

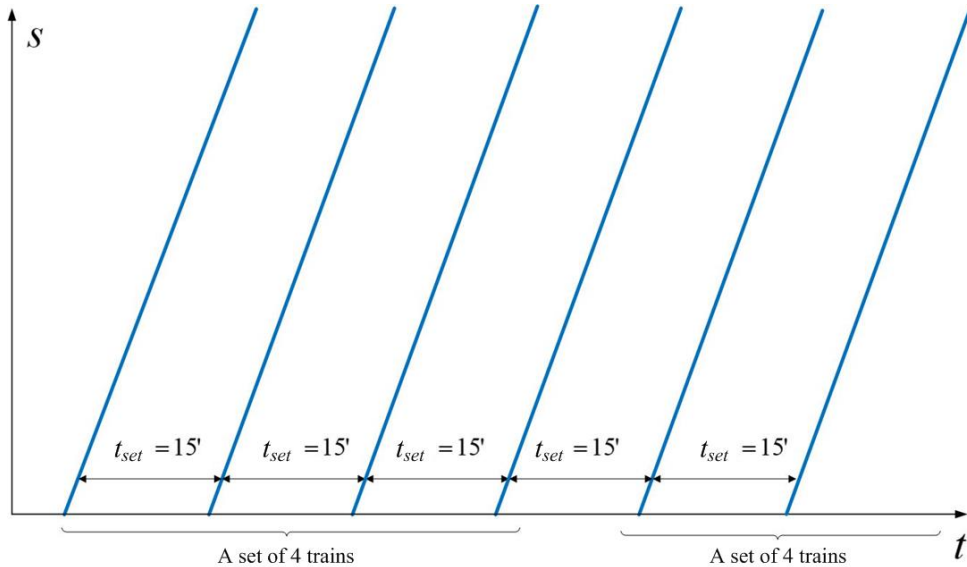


Fig. 3. Graph of trains' movement in reference case

Case 1. The initial data for the first use case are:

- $N_{lim\ sec}$ speed limit sections,
- trains depart at t_{set} min. intervals,
- trains move while maintaining the time interval between them.

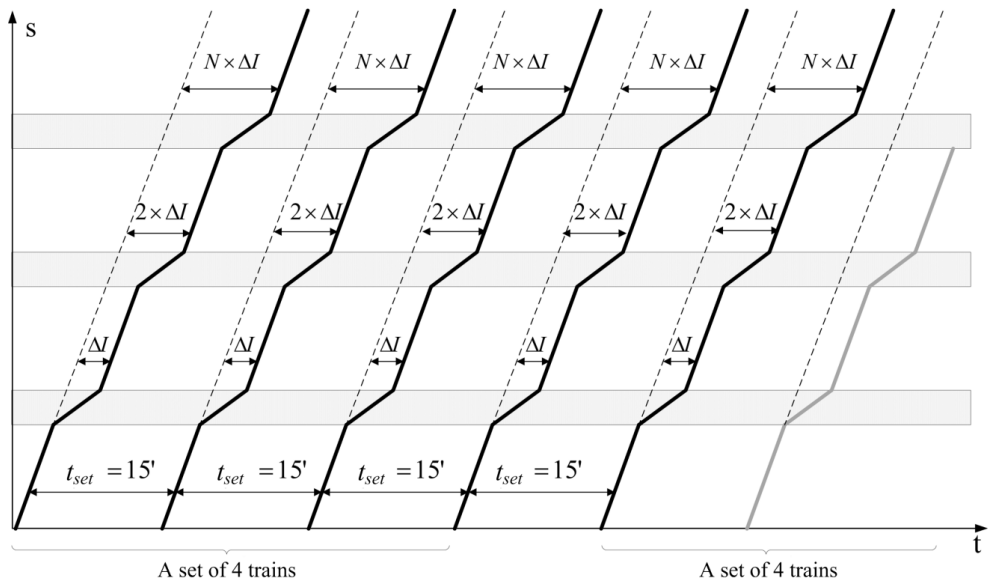


Fig. 4. Graph of trains' movement in case 1

This case is characterized by the fact that each speed limit section includes a time delay, determined by the following equation:

$$\Delta I = \frac{L_T + S_{lim}}{v_{lim}} - \frac{L_T + S_{lim}}{v_{set}} = \frac{v_{set} - v_{lim}}{v_{lim} \cdot v_{set}} \cdot (L_T + S_{lim}). \quad (3)$$

This time delay (3) affects the time of passage of the track section, but does not affect the time interval between trains at the end of the section.

Therefore, the total number of trains per day will be determined by the ratio that takes into account the time losses that occur during the movement of the first train:

$$n_1 = \frac{T - N_{lim,sec} \cdot \Delta I}{T}, \quad n_1 = \frac{T - N_{lim,sec} \cdot \Delta I}{T} \cdot \frac{T}{I} = \frac{T - N_{lim,sec} \cdot \Delta I}{I}, \quad (4)$$

where $N_{lim,sec}$ is the number of speed limit sections.

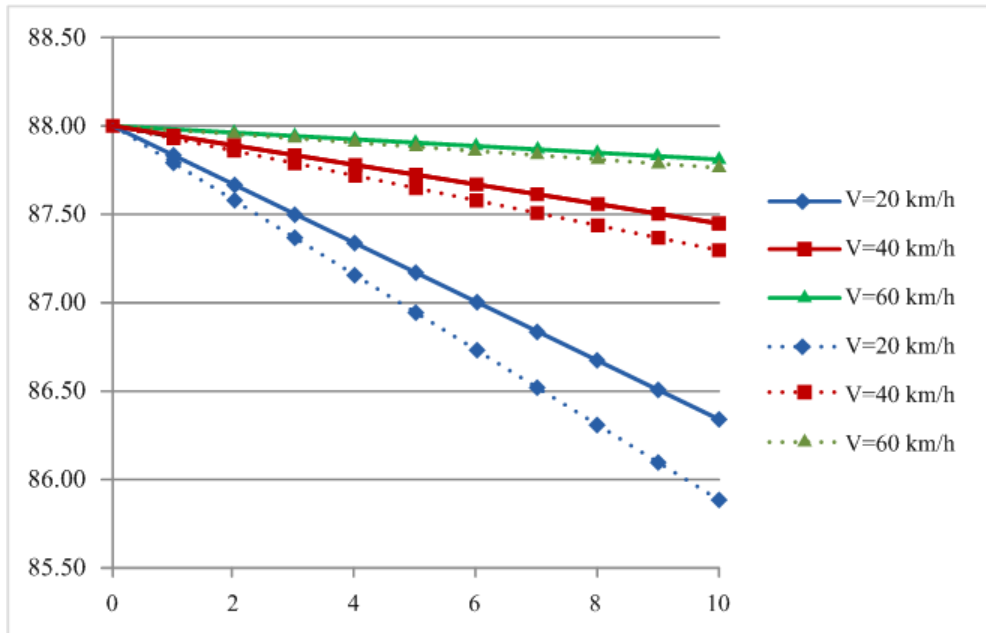


Fig. 5. Capacity graphs for different values of V_{lim} and speed limit section lengths

Case 2. In this use case the number of departed trains is increased due to virtual coupling of two trains and reduced headway. The initial data for this case are:

- N_{lim_sec} speed limit sections,
- trains depart at t_{set} min. intervals,
- a virtually coupled train with a reduced interval $t_{vc} < t_{set}$ min. departs once an hour,
- time interval and distance between trains remain unchanged.

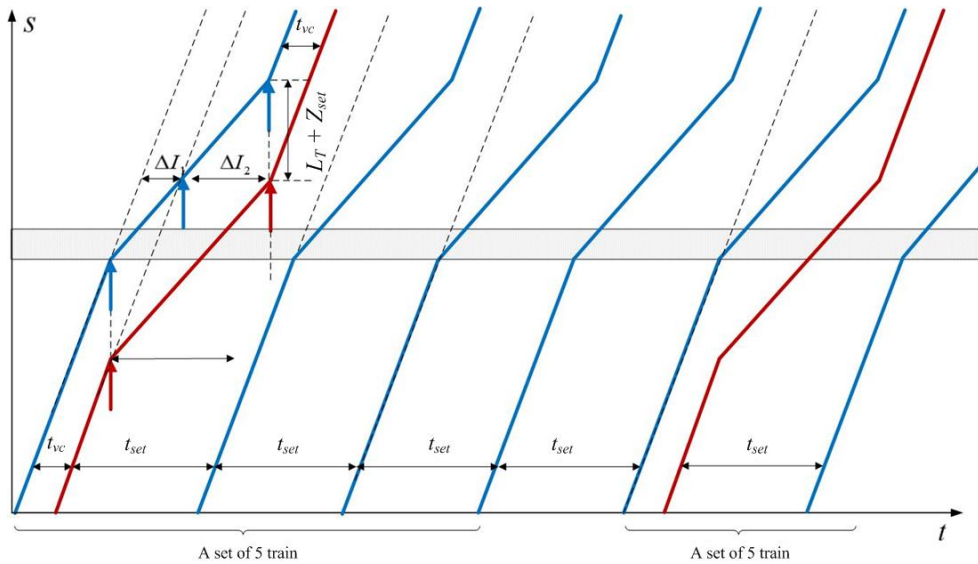


Fig. 6. Graph of trains' movement in case 2

When the first train runs on a speed restriction section the second train also slows down from V_{set} to V_{lim} , which increases time interval between trains (the first and second) after passing the speed restriction section.

The time delay for the first train is made up of two components:

- time delay when passing the speed limit section:

$$\Delta I_1 = \frac{V_{set} - V_{lim}}{V_{lim} - V_{set}} \cdot (L_T + S_{lim}); \quad (5)$$

- additional time delay after leaving the speed limit section:

$$\Delta I_2 = \frac{L_T + Z_{set}}{V_{lim}}. \quad (6)$$

The total delay in the movement of the first and second trains when passing through one speed limit section is determined by the following equation:

$$\Delta I_{1,2} = \frac{V_{set} - V_{lim}}{V_{lim} - V_{set}} \cdot (L_T + S_{lim}) + \frac{L_T + Z_{set}}{V_{lim}}. \quad (7)$$

Taking into account this time delay (7) the number of trains per day (22 hours) is determined by the following relation:

$$n_2 = \frac{4t_{set}}{3t_{set} + t_{vc}} \cdot \frac{T - N_{lim,sec} \cdot \Delta I_{1,2}}{T}. \quad (8)$$

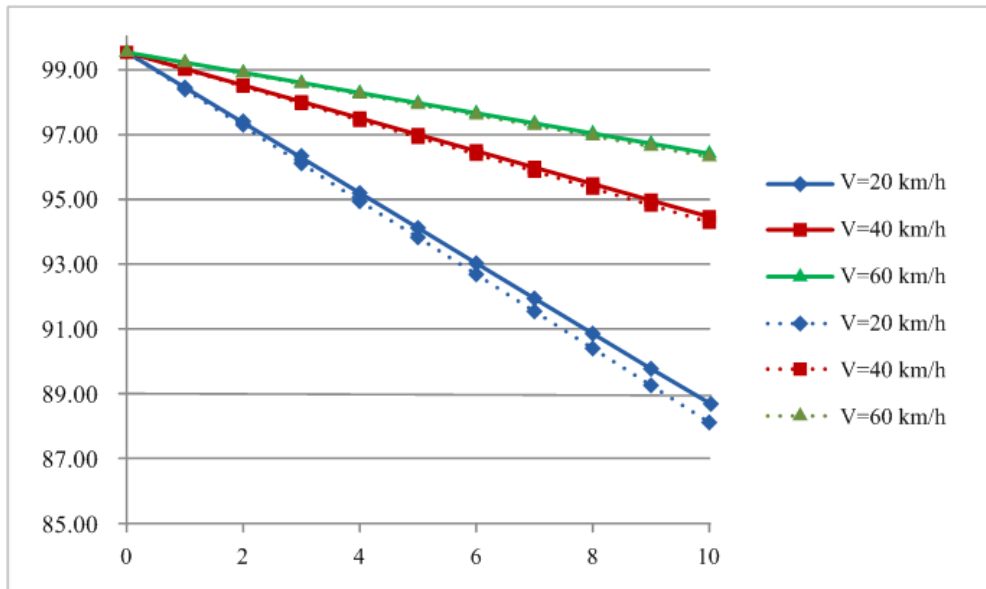


Fig. 7. Capacity graphs for different values of V_{lim} and speed limit section lengths

Case 3. In this use case the number of departed trains is also increased due to virtual coupling of two trains and reduced headway, however the distance between trains can change. The initial data for this use case are:

- $N_{lim\ sec}$ speed limit sections,
- trains depart at t_{set} min. intervals,
- a virtually coupled train with a reduced interval $t_{vc} < t_{set}$ min. departs once an hour,
- time interval remains unchanged, distance between trains can change.

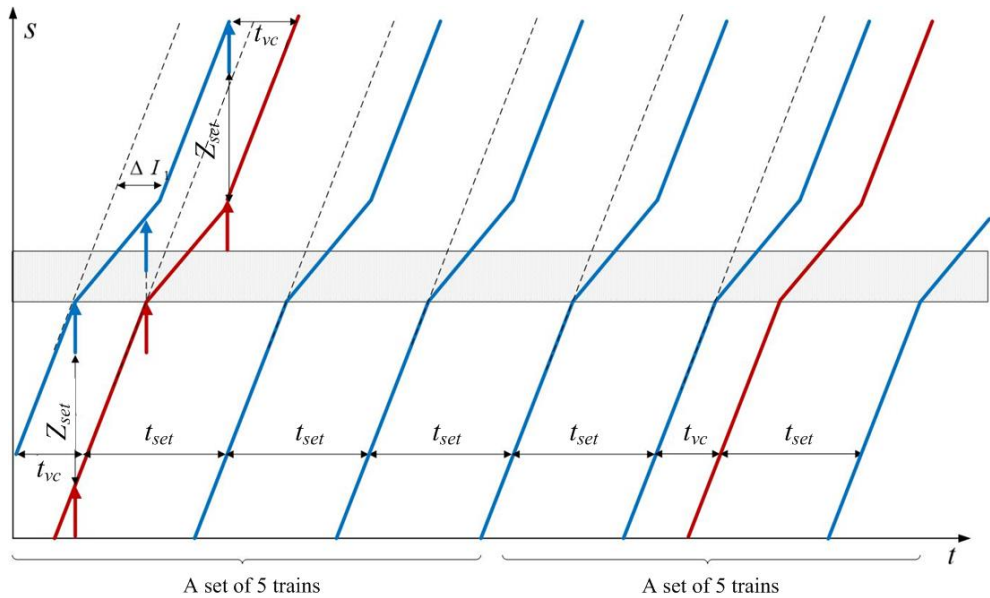


Fig. 8. Graph of trains' movement in case 3

The situation is considered when the second train reaches the border of the speed limit section and the distance between trains is at least three block sections. In this case, there is no additional time delay ΔI_2 , so the number of trains per day (22 hours) will be determined taking into account only the time delay (5) as follows:

$$n_3 = \frac{4t_{set}}{3t_{set} + t_{vc}} \cdot \frac{T - N_{limsec} \Delta I_1}{T} \quad (9)$$

All other intermediate cases fall within the range between relations (8) and (9).

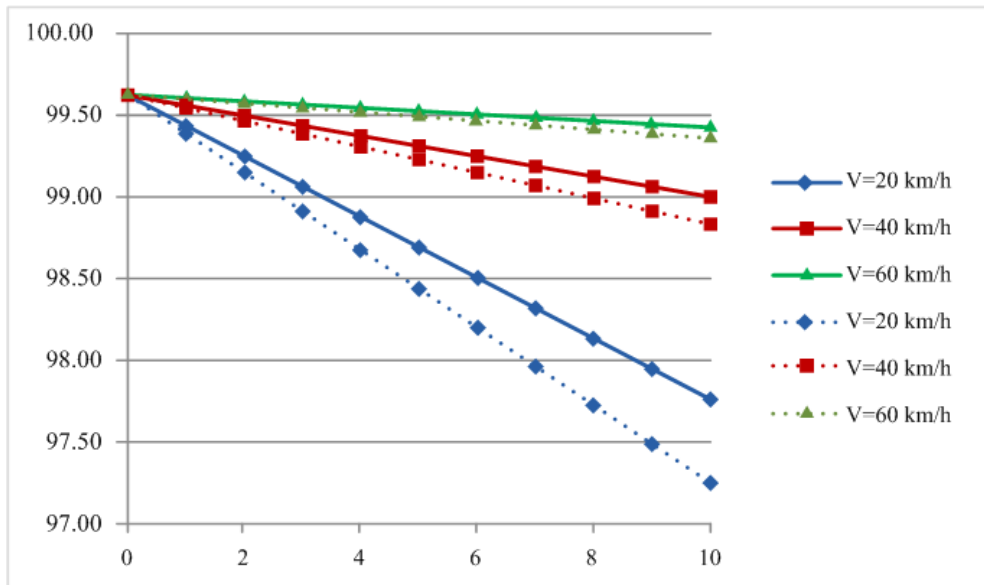


Fig. 9. Capacity graphs for different values of V_{lim} and speed limit section lengths

Case 4. The next case describes the second virtually coupled train following at a t_{vc} interval halting before entering the speed limit section, so that the time interval between trains at the end of the speed limit section is the set value t_{set} . The initial data for this use case are:

- N_{lim_sec} speed limit sections,
- trains depart at t_{set} min. intervals,
- a virtually coupled train with a reduced interval $t_{vc} < t_{set}$ min. departs once an hour,
- time interval between trains at the start of the first speed limit section is t_{vc} , time interval between trains at the end of the first speed limit section is t_{set} .

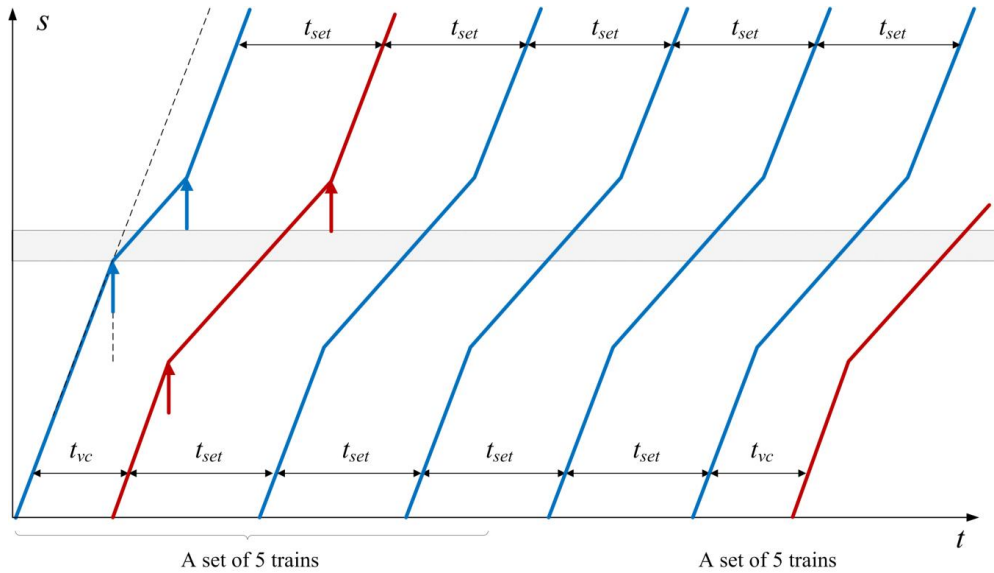


Fig. 10. Graph of trains' movement in case 4

This means that the trains leave the line with t_{set} interval, which is fully described by relations (3) and (4), i.e.:

- time delay when passing through one speed limit section is:

$$\Delta I = \frac{L_T + S_{lim}}{v_{lim}} - \frac{L_T + S_{lim}}{v_{set}} = \frac{v_{set} - v_{lim}}{v_{lim} \cdot v_{set}} \cdot (L_T + S_{lim}). \quad (10)$$

- the total number of trains per day, taking into account time losses arising from the running of the first train is:

$$n_4 = \frac{T - N_{lim.sec} \cdot \Delta I}{I}, \quad (11)$$

where $N_{lim.sec}$ is the number of speed limit sections.

However, for this use case, it must be taken into account that for each set of five trains entering the line, an additional time delay occurs when passing the first speed limit section:

$$\Delta t = t_{set} - t_{vc}.$$

In total, $m_4 = \frac{T}{4I}$ sets of five trains can depart with an interval of $t_{set}=I$, which leads to the accumulation of a time delay determined by the relation:

$$\Delta t(m_4) = m_4(t_{set} - t_{vc}). \quad (12)$$

From the last relation follows that when the train travel time on the line exceeds the accumulated time delay (12), i.e.

$$t_{travel} > m_4(t_{set} - t_{vc}) = \frac{T}{4I}(t_{set} - t_{vc}),$$

the line capacity is determined by relation (11). At the same time, the necessary time for the formation of trains sent to the line will be determined by the dependence:

$$T_{vc} = \frac{3I + t_{vc}}{4I} \cdot T. \quad (13)$$

Otherwise, when the train travel time on the line is less than the accumulated time delay (12), i.e.

$$t_{travel} < \frac{T}{4I}(t_{set} - t_{vc}),$$

the departure of the next set of five trains to the line is delayed, which reduces the virtual coupling's effectiveness. However, the line capacity is still determined by relation (11), while time T_{vc} approaches T .

Case 5. This use case is similar to the previous one, the only difference being that the second virtually coupled train following at a t_{vc} interval is halting before entering the speed limit section, so that the time interval between trains at the end of the speed limit section is $t'_{set} < t_{set}$. The initial data for this use case are:

- $N_{lim\ sec}$ speed limit sections,
- trains depart at t_{set} min. intervals,
- a virtually coupled train with a reduced interval $t_{vc} < t_{set}$ min. departs once an hour,
- time interval between trains at the start of the first speed limit section is t_{vc} , time interval between trains at the end of the first speed limit section is $t'_{set} < t_{set}$.

In this case the trains leave the line at an interval $t'_{set} < t_{set}$, which is described by relations (3) and (4), i.e.:

- time delay when passing through one speed limit section is:

$$\Delta I = \frac{L_T + S_{lim}}{V_{lim}} - \frac{L_T + S_{lim}}{V_{set}} = \frac{V_{set} - V_{lim}}{V_{lim} V_{set}} \cdot (L_T + S_{lim}). \quad (14)$$

- the total number of trains per day, taking into account time losses arising from the running of the first train is:

$$n_5 = \frac{T - N_{lim\ sec} \cdot \Delta I}{I}, \quad (15)$$

where $N_{lim\ sec}$ is the number of speed limit sections.

Similar to the previous use case, it must be taken into account that for each set of four trains entering the line, an additional time delay occurs when passing the first speed limit section:

$$\Delta t' = t'_{set} - t_{vc} < t_{set} - t_{vc}.$$

In total, $m_5 = \frac{4(T - N_{lim,sec}\Delta t')}{3I + t'_{set}}$ sets of five trains can depart with intervals of $t_{set}=I$ and $t'_{set} < t_{set}$, which leads to the accumulation of a time delay determined by the relation:

$$\Delta t(m_5) = m_5(t'_{set} - t_{vc}). \quad (16)$$

From the last relation follows that when the train travel time on the line exceeds the accumulated time delay (12), i.e.

$$t_{travel} > m_5(t'_{set} - t_{vc}) = \frac{4(T - N_{lim,sec}\Delta t')}{3I + t'_{set}}(t'_{set} - t_{vc}),$$

the line capacity is determined by relation (15). At the same time, the necessary time for the formation of trains sent to the line will be determined by the dependence:

$$T'_{vc} = \frac{3I + t'_{set}}{4} \cdot T. \quad (17)$$

Otherwise, when the train travel time on the line is less than the accumulated time delay (16), i.e.

$$t_{travel} < \frac{4(T - N_{lim,sec}\Delta t')}{3I + t'_{set}}(t'_{set} - t_{vc}),$$

the departure of the next set of four trains to the line is delayed, which reduces the virtual coupling's effectiveness. However, the line capacity is still determined by relation (15), while time T'_{vc} approaches T .

For example, for actual data:

$L_T=1000$ m; $S_{lim}=100$ m; $N_{lim,sec}=4$; $V_{set}=80$ km/h; $V_{lim}=60$ and 40 km/h; $t_{set}=15$ min; $t'_{set}=13$ min; $t_{vc}=8$ min, the following estimates will be obtained:

Use case	$V_{lim} = 40$ km/h	$V_{lim} = 60$ km/h
<p>Case 1. Operation without virtual coupling.</p> <p>Calculated relations:</p> $\Delta I = \frac{V_{set} - V_{lim}}{V_{lim} \cdot V_{set}} \cdot (L_T + S_{lim});$ $n_1 = \frac{T - N_{lim,sec} \Delta I}{I}.$	$n_1 = 88$	$n_1 = 88$
<p>Case 2. A train with an interval t_{vc} min. departs once an hour (the distance between trains does not change).</p> <p>The delay time of the first train is t_d. (The first train continues to move at a speed V_{lim} for t_d after leaving the section)</p> <p>Calculated relations:</p>	$n_2 = 97$ $t_d = 6$ min	$n_2 = 98$ $t_d = 4$ min

$\Delta I_{1,2} = \frac{V_{set} - V_{lim}}{V_{lim} \cdot V_{set}} \cdot (L_T + S_{lim}) + \frac{L_T + Z_{set}}{V_{lim}};$ $n_2 = \frac{4t_{set}}{3t_{set} + t_{vc}} \cdot \frac{T - N_{lim} sec \Delta I_{1,2}}{T}.$		
<p>Case 3. A train with an interval t_{vc} min. departs once an hour (the distance between trains may change).</p> <p>The time of reducing distance to three block sections (3 km) is t_{dis}.</p> <p>Calculated relations:</p> $\Delta I_1 = \frac{V_{set} - V_{lim}}{V_{lim} \cdot V_{set}} \cdot (L_T + S_{lim});$ $n_3 = \frac{4t_{set}}{3t_{set} + t_{vc}} \cdot \frac{T - N_{lim} sec \Delta I_1}{T}.$	$n_3 = 99$ $t_{dis} = 10 \text{ min}$	$n_3 = 100$ $t_{dis} = 20 \text{ min}$
<p>Case 4. A train with an interval t_{vc} min. departs once an hour. Time interval between trains at the end of the line is t_{set}.</p> <p>Calculated relations:</p> $\Delta I = \frac{V_{set} - V_{lim}}{V_{lim} \cdot V_{set}} \cdot (L_T + S_{lim});$ $n_4 = \frac{T - N_{lim} sec \Delta I}{I}.$	$n_4 = 88$	$n_4 = 88$
<p>Case 5. A train with an interval t_{vc} min. departs once an hour. Time interval between trains at the end of the line is t'_{set} for the second train in the group, and t_{set} for the third and fourth trains in the group.</p> <p>Calculated relations:</p> $\Delta I = \frac{V_{set} - V_{lim}}{V_{lim} \cdot V_{set}} \cdot (L_T + S_{lim});$ $n_5 = \frac{4t_{set}}{t'_{set} + 3t_{set}} \cdot \frac{T - N_{lim} sec \Delta I}{I}.$	$n_5 = 91$	$n_5 = 91$

Comparison of the obtained estimates shows the following:

- in cases 1,4 of virtual coupling, the capacity does not decrease;
- in cases 2,3 of virtual coupling, the capacity increases.

In conclusion, the preliminary assumption confirmed by calculations is that the virtual train coupling, at least, does not reduce the capacity of speed limit sections, and in some cases of its

application, it provides an increase in capacity. This already suggests the feasibility of the practical application of virtual coupling on certain sections of railways, however to justify practical methods for determining use cases for specific railway sections, a more detailed study is required, including computer simulation of the virtual coupling that takes into account a wide range of parameters.

REFERENCES

- [1] Voronin, V.A., Gurgenedze, I.R., Dezhkov, M.A. [et al] Integrated train separation technology. Moscow, JSC "T8 Izdatel'skiye tekhnologii", 2023. ISBN 978-5-521-23792-0.
- [2] Dezhkov, M.A., Kisel'gof G.K. Virtual coupling technology for interval regulation of train traffic // Automation, communications, informatics, 2021, Iss. 11, pp 28-30. DOI 10.34649/AT.2021.11.11.007.
- [3] Vlas'evskij, S.V., Malysheva, O. A., Shabalin, N. G., Semchenko, V. V. Evaluation of the energy efficiency of 3ES5K EMUs using the train separation technology of the "virtual coupling" type // Vestnik VNIIZhT, 2020, Iss. 79(1), pp 17-25.
- [4] Olencevich, V.A., Upyr', R.Yu., Antipina, A.A. Efficiency of implementation of "virtual coupling" train separation system on the section. Modern technologies. Systemic analysis. Simulation, 2020, Iss. 2(66), pp 182-189. DOI 10.26731/1813-9108.2020.2(66).182-189.
- [5] Rosenberg, E. N., Ozerov, A. V., Panferov, I. A. Integrated approach to increase railway capacity // Automation, communications, informatics, 2022, Iss. 8, pp 2-6. DOI: 10.34649/AT.2022.8.8.001.
- [6] Rosenberg, E.N., Shukhina, E.E., Ozerov, A.V., Malinov, V.M. Modern train traffic control systems: Domestic and foreign experience. Moscow, JSC "Publishing Solutions", 2020. ISBN 978-5-0051-0924-8.
- [7] Ozerov, A.V., European system of interval regulation [*Evropejskaya sistema interval'nogo regulirovaniya*] Automation, communications, informatics, 2019, Iss. 6, pp 14-15. DOI 10.34649/AT.2019.6.6.004.
- [8] Ozerov, A.V., Bilenko, G.M., Okulova, M.L. Modern train separation systems // Innovative technologies in railway transport: Proceedings of a scientific and practical conference with international participation, Moscow, October 20–21, 2021. Moscow: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Russian University of Transport", 2022, pp 323-326.
- [9] Ozerov, A.V. Evolution of the European railway traffic management system // Zheleznye dorogi mira, 2018, Iss. 3, pp 64-73.
- [10] Popov, P.A., Ozerov, A.V. Train separation based on radio channel // Automation, communications, informatics, 2016, Iss. 10, pp 19-22.
- [11] Quaglietta E., Goverde R. M. P. A comparative analysis of Virtual Coupling Railway operations // In Proceedings of the 99th Transportation Research Board Annual Meeting Transportation Research Board (TRB). – 2020.
- [12] Quaglietta E. Analysis of Platooning Train Operations under V2V Communication-Based Signaling: Fundamental Modelling and Capacity Impacts of Virtual Coupling // Computer Science. – 2019.
- [13] Flammini F., Marrone S., Nardone R., Petrillo A., Santini S., Vittorini V. Towards Railway Virtual Coupling // IEEE International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference. – 2018.
- [14] Bushuev, S.V., Gundyrev, K.V., Golochalov, N.S. Increasing the capacity of a railway section using virtual coupling // Traffic management systems, 2021, Iss. 1, pp 7-20.
- [15] Instruction of JSC Russian Railways dated November 10, 2010 No. 128. "Instructions for calculating the available capacity of railways", JSC Russian Railways, 2010.

Information about the authors:

Rozenberg, Efim N., D.Sc. (Eng.), Professor, First Deputy Director General of JSC NIIAS, Moscow, Russia, info@vniias.ru.

Ozerov, Alexey V., Head of the International Department, Head of Intellectual Property Management Centre of JSC NIIAS, Moscow, Russia, a.ozerov@vniias.ru.



XVI međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2024

Banja Luka, 27 - 28. 9. 2024. godine



ANALYSIS OF VEHICLE-PEDESTRIAN CONTACT USING COMPUTER VISION AND OPENCV

Vesna Radojčić, Milos Dobrojević

*Faculty of Computing and Informatics, University Sinergija, Bijeljina
radojccic@sinergija.edu.ba, mdobrojevic@sinergija.edu.ba*

Abstract— This paper explores the application of computer vision and libraries such as OpenCV, YOLOv5, and Torch for detecting traffic accidents. To evaluate the system's effectiveness, we utilized a combination of real-life photographs and footage captured by car-mounted cameras, along with images and videos sourced from the internet. The real-life photographs and footage provided authentic scenarios, allowing for precise testing of the system under real-world conditions. This study presents an analysis of various detection methods and assesses their accuracy and efficiency in practical scenarios. The findings have the potential to transform traffic safety measures, particularly in Bosnia and Herzegovina. With over 38% of registered vehicles in Bosnia and Herzegovina being over 23 years old, and nearly 62% of the vehicle fleet older than 14 years, the risk of traffic accidents is heightened, emphasizing the need for effective detection methods. By utilizing such systems, potentially hazardous situations on the roads can be automatically identified, enabling swift responses from relevant authorities.

Keywords – computer vision, traffic safety, accident detection, OpenCV, YOLOv5, machine learning.

1. INTRODUCTION

In the 21st century, with the increase in urban population and the rise in automobile usage, traffic safety has become a major concern [1]. In cities, traffic congestion has become the primary challenge [2]. Monitoring pedestrian movements and their interactions with vehicles, known as object tracking [3] can play a significant role in enhancing pedestrian safety. By analyzing pedestrian behavior, identifying traffic patterns, and anticipating potential conflicts, authorities can implement various measures such as pedestrian crossing signals, improved signage, or traffic calming techniques to improve overall pedestrian safety.

According to the latest statistics on traffic accidents, their causes, and consequences in Bosnia and Herzegovina, in 2022, there were a total of 31,321 traffic accidents on Bosnian-Herzegovinian roads, out of which 7,230 resulted in casualties and injuries, while in 24,091 cases, material damage was incurred. The number of accidents increased by 1,083 compared to 2021, indicating a continuous upward trend in the number of traffic incidents each year [4]. Given the alarming statistics of traffic incidents on the roads of Bosnia and Herzegovina, this research aims to provide useful solutions to improve traffic safety.

2. RELATED WORK

Recent research explores computer vision techniques for enhancing road safety and traffic management. Gülyeter Öztürk et al. [5] propose a system using YOLOv5 for detecting vehicles, pedestrians, and traffic signs, while also identifying lanes.

Thommandru et al. [6] have developed a system for automatic vehicle detection and rescue after accidents based on IoT technology. The system utilizes an accelerometer to detect vehicle tilt and crashes, sending the GPS location of the accident to security, medical, and family contacts. The proposed design achieves a faster response compared to conventional rescue systems, thereby saving more lives.

The system automatically sends alerts to the control center and rescue teams, while also monitoring the driver's temperature. In the event of an accident, sensors detect the collision, and the controller sends accident information to the rescue team, using GPS to locate the scene. The proposed system has proven to be effective and functional in testing and could be particularly beneficial in countries with high accident rates.

Xinyu Wu and Tingting Li [7] conducted a study on car accident detection in video-based traffic surveillance systems. They found that deep learning, specifically convolutional neural networks (CNNs), showed superior accuracy in detecting accidents compared to other methods. The study introduced a CNN-based approach to enhance accident detection accuracy and real-time performance. Results showed promising accuracy rates, particularly for detecting "damaged-rear-window," "damaged-window," and "damaged-windscreen" classes.

Rani et al. [8] discuss the surge in car demand amid increasing population and time constraints, leading to a rise in traffic risks and road collisions. They highlight the unprecedented growth in crashes, resulting in fatalities. Leveraging Machine Learning, they propose a model capable of classifying images based on damage severity, thus addressing complex problems with real-life applications. Their approach utilizes artificial neural networks to train the model on image datasets and accident data, aiming to improve efficiency and accuracy in image polarity detection compared to existing methods.

Rocky et al. [9] have addressed the need for a reliable system to detect high-risk incidents, particularly accidents, in complex settings like roadways. They emphasize the importance of empowering self-driving cars to operate autonomously over extended periods without human intervention. Their review focuses on the use of dashboard cameras (dashcams) as a cost-effective solution to enhance the safety of autonomous vehicles when dealing with accidents. They provide a comprehensive overview of the evolution of concepts in this domain, categorizing approaches into supervised, self-supervised, and unsupervised learning. Additionally, they thoroughly examine evaluation criteria and available datasets, offering insights into the strengths and limitations of different methods.

Ghahremannezhad et al. [10] present a novel framework for automatically detecting traffic accidents and near-accidents at intersections using computer vision techniques. Their approach involves three core components: object detection leveraging YOLOv4, object tracking employing Kalman filter and Hungarian algorithm, and accident detection via trajectory analysis. The framework tackles challenges like occlusion and overlapping objects during tracking, while also scrutinizing trajectories to identify anomalies indicative of potential accidents. Through experimentation with real traffic video data, the authors demonstrate the efficacy of their method in real-time traffic surveillance, achieving a commendable detection

rate coupled with minimal false alarms. They assess the framework's robustness using a diverse dataset of traffic videos featuring accident scenarios. In conclusion, their framework holds significant promise for enhancing safety at urban intersections by enabling prompt accident detection and analysis.

This comprehensive review provides valuable insights into the current state of research in the field, setting the stage for our own contributions and advancements.

3. DATA COLLECTION

For the preparation of this experimental study, data collection involved a wide range of video materials and photographs sourced from both real-life situations and online platforms, providing authentic depictions of traffic scenarios. Online video recordings were selected to augment the dataset with diverse scenarios. Each frame of the video material was carefully analyzed. The dataset comprised a total of 50 images and 12 video clips. Through this analysis, our goal was to provide deeper insights into the effectiveness of the detection system and assess its applicability in real-life situations.

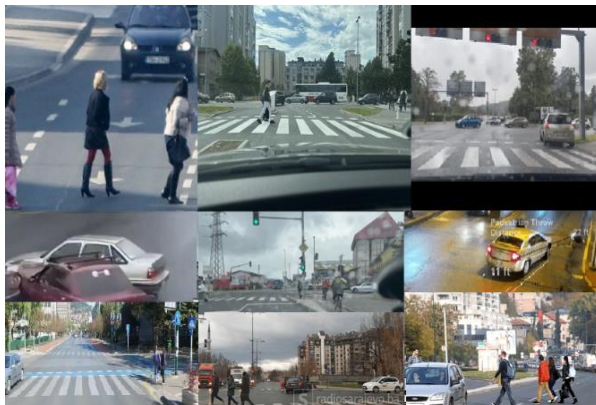


Figure 1 The videos and images depicting various traffic scenarios in the data set used to evaluate the performance of the proposed framework

4. IMAGE PROCESSING

Image processing involves the manipulation of digital data in the form of images or videos from which information about shape, position, orientation, size, dimension, and color can be obtained [13]. When a person views an image or video, they can clearly distinguish objects, distances between those objects, colors, and positions. The goal of digital image processing is to extract such information. Our image processing process involves several steps: loading, resizing, edge detection, object detection, conversion to grayscale, and noise removal.

Loading an image

When loading an image, the first step involves importing the required library for loading. Next, the `cv2.imread()` function is called as the second step, and its result is stored in the variable `img`. The parameters of this function include the path to the image being loaded and an integer value indicating whether the image will be loaded in color or grayscale (variable `img_1`).

To display the image in a new window, the `cv2.imshow()` function is called. The parameters of the function include the window name and the variable containing the loaded image data. Subsequently, the `waitKey()` function is called, temporarily pausing the program execution until a key is pressed on the keyboard. Once this condition is met, the `destroyAllWindows()` function is executed, which closes all program windows.



Figure 2 The image loaded in its original form [14]

Resizing the image

To resize an image by width and height in pixels, the `resize()` function from the OpenCV library `cv2` is utilized. The size of the image can be adjusted based on specific requirements. In the provided example, the image is reduced by 50%, and the new dimensions are calculated. If only one dimension is known, the other can be computed based on the aspect ratio of the original image. Here's a breakdown of the process [15]:

- `cv2.imread()` reads the specified file in `cv2.IMREAD_UNCHANGED` mode and returns a NumPy array with pixel values. The variable `scaling_percentage` is set to 50, indicating a reduction to 50% of the original dimensions (both width and height).
- `img.shape[1]` retrieves the width value of the original image.
- `int(img.shape[1] * scaling_percentage / 100)` calculates the new width, representing 50% of the original width. The new size of the image with these calculated dimensions is established.
- `cv2.resize` resizes the image `img` to the new dimensions stored in the variable `new_image` and returns a NumPy array.
- The resized image is saved to disk with the new name "pedestrians resize-50.jpg".



Figure 3 Size comparison: 50% reduction (right) compared to the original size (left)

Converting an RGB image to grayscale

To obtain a grayscale image, you can read the file directly in grayscale mode. Alternatively, if an RGB image is already loaded, you can achieve the conversion by applying the `cvtColor` method from the OpenCV library to convert the image to grayscale mode.



Figure 4 Original RGB image (left) converted to grayscale (right)

Noise removal

One of the fundamental challenges in image processing and computer vision is noise removal from images. The process of "denoising" involves estimating the original image by suppressing noise present in the image. Various sources can introduce noise into an image (from sensors or the environment), which is often unavoidable in practical scenarios.



Figure 5 Result of noise removal from the image

Edge detection

Edge detection is a fundamental and crucial task in computer vision and image processing, with a wide range of applications [16]. It aims to identify notable variations within grayscale images and comprehend the underlying physical phenomena behind these changes. The process involves detecting the boundaries or edges of objects by recognizing abrupt shifts in shading within the image [17].

This technique is valuable for extracting the structural information of objects depicted in the image. There are several algorithms for edge detection due to their wide applicability. One such algorithm is Canny Edge Detection.

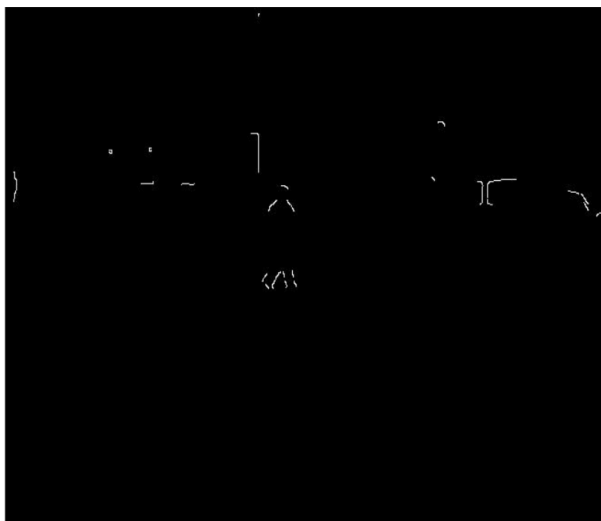


Figure 6 Result of edge detection on the image

5. OBJECT DETECTION

Object detection enables a machine to analyze thousands of individual objects as they move past a sensor [18]. It is widely used in various applications such as surveillance, autonomous vehicles, medical imaging, and more. By scanning and analyzing thousands of individual objects as they pass by a sensor, machines can accurately detect and classify them in real-time, opening up a plethora of possibilities for automation and intelligent decision-making.

Object detection involves the use of computer vision and image analysis to recognize symbolic elements of a particular kind within visual images and video content. Using the YOLO5 algorithm for object detection, we successfully identified various objects in the image (Figure 7).

The detected objects include a car, bicycle, pedestrian, bus, traffic light, and motorcycle with high precision and speed. The algorithm enabled efficient recognition of objects within the scene, making it a valuable tool in various computer vision applications such as traffic monitoring, video surveillance, or autonomous driving.



Figure 7 Object Detection using YOLOv5 Algorithm [19]

6. ANALYSIS AND RESULTS

The development of the "Pedestrian-Vehicle Contact Detection" application in the Python programming language represents a significant step towards improving pedestrian safety in traffic.

Especially in Bosnia and Herzegovina, where the vehicle fleet is old and not equipped with modern safety systems, this application can be of great assistance in preventing accidents. This application utilizes advanced computer vision techniques, particularly YOLO (You Only Look Once), to detect potential collisions between vehicles and pedestrians in real-time.

In the initial stages of the code, necessary libraries and the YOLOv5 model for video processing are loaded. The libraries used include OpenCV for working with video files, Torch for deep learning model operations, and NumPy for numerical data manipulation.

A function named `load_yolov5_model()` is defined, responsible for loading the YOLOv5 model for object detection. This function utilizes the `torch.hub.load` method to download the model from the popular repository Ultralytics/YOLOv5. In case the model loading fails, an appropriate error is displayed.

The main function for video processing, responsible for detecting objects and collisions, begins by loading the YOLOv5 model for object detection. Subsequently, it opens the video file for processing and initializes variables to track object and collision information. Within the main loop, each frame of the video undergoes preprocessing and is forwarded to the detection model.

Detected objects are then classified into classes (cars and pedestrians), the average size of car frames is calculated, and bounding boxes are drawn on the frame. Following this, collisions between objects are detected, and collision information is appended to the frame for visualization. Finally, the processed video is displayed, and the loop terminates if the user presses 'q' on the keyboard.

$$\text{Detection Ratio} = \frac{\text{Detected accident cases}}{\text{Total accident cases in the dataset}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{False Alarm Rate} = \frac{\text{Patterns where false alarm occurs}}{\text{Total number of patterns}} \times 100 \quad (2)$$

The equations (1), (2) represent the detection rate and false alarm rate [20]. This application framework achieved a detection rate of over 81% using Equation 1 and a false alarm rate of 8.06% using Equation 2. This indicates the exceptional efficiency of the proposed approach, which considers various factors contributing to collision occurrences. In most scenarios, there is a high detection rate, but certain challenges have emerged. For example, in cases of traffic congestion, the system tended to generate false detections and miss some vehicles.

Moreover, under low-light conditions at night, false detections were observed. In the future, we plan to further enhance the system to address these challenges and achieve even greater detection accuracy in various weather and lighting conditions.

7. CONCLUSION

Through the exploration of computer vision applications and the use of libraries such as OpenCV, YOLOv5, and Torch for detecting traffic accidents, we have paved the way for innovative solutions that can significantly contribute to enhancing traffic safety. The combination of real-life scenarios and online video materials allowed for comprehensive testing

of the system under real-world conditions, providing deeper insights into the effectiveness of various detection methods. This research has the potential to transform the way traffic safety is maintained, especially considering the alarming statistics of traffic accidents on the roads. Identifying potentially hazardous situations and enabling swift responses from relevant authorities can significantly reduce the number of traffic accidents and save lives. This initiative not only promises better road safety in Bosnia and Herzegovina but also lays the groundwork for further technological development in the field of traffic safety.

REFERENCES

- [1] H. Narit, C. Pitchaya, M. Nagorn, N. Chayawat, and I. Pawinee, "The video-based safety methodology for pedestrian crosswalk safety measured: The case of Thammasat University, Thailand," *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, p. 101036 <https://doi.org/10.1016/j.trip.2024.101036>, 2024.
- [2] J. W. R. Salem, K. Rajkumar, A. M., and A. Parameswari, "Efficient Intelligent Smart Ambulance Transportation System using Internet of Things," *Technical gazette*, vol. 1, no. <https://doi.org/10.17559/TV-20230726000829>, pp. 171-177, 2024.
- [3] M. N. Favorskaya and V. V. Andreev, "THE STUDY OF ACTIVATION FUNCTIONS IN DEEP LEARNING FOR PEDESTRIAN DETECTION AND TRACKING," *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-2/W12*, pp. 53–59 [doi:10.5194/isprs-archives-XLII-2-W12-53-2019](https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W12-53-2019), 2019.
- [4] S. Z. I. I. D. (SID), "BIHAMK - BOSANSKOHERCEGOVAČKI AUTO-MOTO KLUB," March 2023. [Online]. Available: <https://bihamk.ba/statistika/statistike>.
- [5] Ö. Gülyeter, E. Osman and K. R., "Computer Vision-Based Lane Detection and Detection of Vehicle, Traffic Sign, Pedestrian Using YOLOv5," *Sakarya University Journal of Science*, 2024.
- [6] T. Raju, K. Koppurapu, S. R. Borugadda, K. Konka and V. S. Alapati, "IoT Based Automatic Vehicle Accident Detection and Rescue System," *International Journal for Modern Trends in Science and Technology*, vol. 10, no. 3 <https://doi.org/10.46501/IJMTST1003016>, pp. 94 - 99 , 2024.
- [7] W. Xinyu and L. Tingting, "A deep learning-based car accident detection approach in video-based traffic surveillance," *Journal of Optics*, pp. <https://doi.org/10.1007/s12596-023-01581-4>, 2024.
- [8] R. Ishu, T. Bhushan and J. N. K., "IoT-based vehicular accident detection using a deep learning model," *International Journal of Autonomous and Adaptive Communications Systems*, vol. 17, no. 1, pp. 1-23 <https://doi.org/10.1504/IJAACS.2024.135931>, 2024.
- [9] R. Arash, J. W. Qingming and Z. Wandong, "Review of Accident Detection Methods Using Dashcam Videos for Autonomous Driving Vehicles," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, p. [doi: 10.1109/TITS.2024.3354852](https://doi.org/10.1109/TITS.2024.3354852), 2024.
- [10] H. Ghahremanzhad, H. Shi and C. Liu, "Real-Time Accident Detection in Traffic Surveillance Using Deep Learning," in *IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques*, 2022.
- [11] "Agencija za statistiku Bosne i Hercegovine, Registrovana cestovna motorna vozila za 2023. godinu," 2024. [Online]. Available: https://bhas.gov.ba/data/Publikacije/Saopštenja/2024/TRA_06_2023_Y1_1_BS.pdf.
- [12] "etto.ba - Loši putevi i zastarjeli standardi: Raste broj saobraćajnih nesreća u Bosni i Hercegovini," 2023. [Online]. Available: <https://etto.ba/clanak/lo%C5%A1i-putevi-i-zastarjeli-standardi-raste-broj-saobra%C4%87ajnih-nesre%C4%87a-u-bosni-i-hercegovini>.
- [13] B. Wilhelm and J. B. Mark, *Digital Image Processing An Algorithmic Introduction*, Springer International Publishing, 2022.
- [14] RTRS, "U centru Bijeljine uklonjena dva sporna parking mjesta (VIDEO)," 2017. [Online]. Available: <https://lat.rtrs.tv/vijesti/vijest.php?id=278706>.
- [15] V. Radojčić, "UPOTREBA RAČUNARSKOG VIDA ZA PREPOZNAVANJE PJEŠAKA U SAOBRAĆAJU," *MASTER RAD, Univerzitet Sinergija*, 2021.
- [16] X. Ronghao, X. Xin, P. Hong, W. Jun, R. d. A. M. Antonio, and Y. Qian, "Feature fusion method based on spiking neural convolutional network for edge detection," *Pattern Recognition*, vol. 147, no. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2023.110112>, p. 110112, 2024.
- [17] V. Radojčić, A. S. Cvetković, M. Dobrojević, P. Spalević, and M. E. Jalal, "Advancements in Computer Vision Applications for Traffic Surveillance Systems," in *Sinergija University Scientific Conference with International Participation*, Bijeljina, 2023.
- [18] V. Radojčić, A. S. Cvetković and M. Dobrojević, "The Use of Computer Vision in Precision Agriculture," in *Sinteza 2023 - INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ON INFORMATION TECHNOLOGY*,

- COMPUTER SCIENCE, AND DATA SCIENCE*, Belgrade <https://doi.org/10.15308/Sinteza-2023-60-65>, 2023.
- [19] V. Radojic and M. Dobrojevic, "Analysis of the Efficiency of Computer Vision for the Detection of Vehicles and Pedestrians in Traffic," in *Sinteza 2024 - International Scientific Conference on Information Technology, Computer Science, and Data Science*, Belgrade, doi:10.15308/Sinteza-2024-148-155, 2024.
- [20] E. P. Ijjina, D. Chand, S. Gupta and K. Goutham, "Computer Vision-based Accident Detection in Traffic Surveillance," in *2019 10th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, Kanpur, India pp. 1-6, doi: 10.1109/ICCCNT45670.2019.8944469, 2019.
- [21] A. Victor, E. Nelly, E. Zag and M. O. M., "Review on Action Recognition for Accident Detection in Smart City Transportation Systems," *ArXiv*, vol. abs/2208.09588, 2022.
- [22] Y. Yu, W. Xizi, X. Mingze, P. Zelin, W. Yuchen, A. Ella and J. C. David, "DoTA: Unsupervised Detection of Traffic Anomaly in Driving Videos," *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell.*, pp. 444-459. doi: 10.1109/TPAMI.2022.3150763, 2023.



XVI međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2024

Banja Luka, 27 - 28. 9. 2024. godine



САОБРАЋАЈНА РЈЕШЕЊА БАЊЕ ЛУКЕ – ЗЕЛЕНОГ И ПАМЕТНОГ ГРАДА

Славојка Лaziћ

*Паневропски универзитет АПЕИРОН, Бања Лука, Република Српска, БиХ
slavojka.n.lazic@apeiron-edu.eu*

Зоран Ж. Аврамовић

Паневропски универзитет АПЕИРОН, Бања Лука, Република Српска, БиХ zoran.z.avramovic@apeiron-edu.eu

Дражен Маринковић

*Паневропски универзитет АПЕИРОН, Бања Лука, Република Српска, БиХ
drazen.m.marinkovic@apeiron-edu.eu*

Апстракт: *Визија Бање Луке је да се у будућности види као зелени и паметни град. Стратегија развоја Града Бања Лука 2018-2027, види град као еколошки одрживу, комунално опремљену, енергетски ефикасну и безбједну средину – Green City концепт. Истовремено, предвиђен је развој концепта „паметног“ града, који подразумева модернизацију различитих области привреде, укључујући и саобраћај. У сектору саобраћаја креиран је широк спектар приоритетних мјера како би се искористиле бројне могућности унапрјеђења саобраћаја у Бањој Луци. Од 2020. године, креирано је и имплементирано десетак пројеката у овој сфери, који Бању Луку постепено претварају у паметни град – град будућности.*

Кључне ријечи: *зелени град, саобраћај, паметни град, безбједност саобраћаја.*

1. УВОД

Град Бања Лука, са преко 180.000 становника, представља популационо највећи град Републике Српске и њен политички, административни, финансијски и културни центар. По величини, други је град у БиХ, при чему урбано подручје лежи с обје стране ријеке Врбас [1].

Визија Бање Луке је да се у будућности види као зелени и паметни град [2]. Наиме, Стратегија развоја Града Бања Лука 2018-2027, види град као еколошки одрживу, комунално опремљену, енергетски ефикасну и безбједну средину – Green City концепт [3]. Истовремено, предвиђен је развој концепта „паметног“ града, који подразумева модернизацију различитих области привреде, као и изградњу повољног пословног окружења [4].

2. РАЗВОЈ КОНЦЕПТА ЗЕЛЕНОГ, ПАМЕТНОГ ГРАДА - БАЊА ЛУКА

Усвајањем Стратегије развоја, Бања Лука добија стратешке правце развоја у свим областима, укључујући и саобраћај. Акциони план је, поред Стратегије развоја и

Урбанистичког плана града, трећи темељни документ за развој града у наредних десет година и представља стандард у земљама Европе, посебно Европске уније.

Европска комисија је поставила циљ, да градови у ЕУ усвоје циљеве и мјере одрживог развоја [2]. Бања Лука покушава да трчи испред свог времена и трудила се да добије први акциони план Зеленог града у БиХ, не само зато што је то стандард него зато што јој то треба [5]. Постоји око 15 области које се подразумевају под сегментом „Зеленог града“ [6]. Много тога се урадило на трансформацији саобраћаја, зелених површина, водоснабдијевања, али систематично треба припремити циљеве и мјере и за наредни дугорочни период.



Слика 1: Нови режим једносмјерног саобраћаја у центру Бање Луке

Идеја са акционим плановима за „Зелене градове“ врло је једноставна, треба да се идентификују сви извори загађења и еколошки проблеми у граду, те да се предложи рјешења. Као резултат овога требало би имати конкретан план мјера које треба имплементирати да се загађење смањи како би град постао зеленији.

Утврђени циљ је и развој концепта „паметног“ града, што укључује модернизацију различитих области привреде. Стратешки циљ је развој и друштвених дјелатности као што су здравство, образовање, спорт и култура. Мрежа зелене и плаве инфраструктуре заштитиће и унаприједити и водне ресурсе а Бања Луке ће одржати репутацију “града зеленила” [7].

3. СТРАТЕШКИ ЦИЉЕВИ САОБРАЋАЈА У БАЊОЈ ЛУЦИ

Бања Лука постепено постаје и примјер иновативне, паметне и одрживе саобраћајне инфраструктуре [8]. У сектору саобраћаја креиран је широк спектар приоритетних мјера како би се искористиле бројне могућности унапријеђења саобраћаја у Бањој Луци.

Свим овим мјерама настоји се побољшати управљање коришћења приватних аутомобила. Мјере обухватају увођење зона са ограничењем за паркирање аутомобила,

надogradњау система саобраћајне сигнализације у граду, провођење кампање за дијељење превоза аутомобилом, преиспитивање пројектовања улица [2]. У комбинацији са смањењем атрактивности превоза приватним аутомобилима у центру града, биће урађена побољшања пјешачке и бицикличке инфраструктуре. Планирано је увођење мреже бицикличких стаза у граду, инфраструктура за паркирање бицикала, те проширење пјешачке зоне у центру града. Изненађујућа је чињеница да постоји недостатак бицикличких садржаја због релативно равне топографије града [2]. Такође су планиране промотивне кампање за пјешачење и бициклизам како би се испромовисала инфраструктурна побољшања и иницијатива дијељења превоза аутомобилом у граду. Поред ограниченог броја бицикличких стаза, не постоји задовољавајуће одвајање или означавање трака за аутобусе, упркос чињеници да је учесталост аутобуских услуга релативно добра. Понуда аутобуских услуга ће бити употпуњена у цијелој Бањој Луци надogradњом постојеће инфраструктуре, као што су инфраструктура за аутобуске станице и информациони системи на аутобуским станицама и стајалиштима, те увођењем траке првенства пролаза за аутобусе. Неопходна је реформа функционисања аутобуског превоза, у виду новог модела аутобуског превоза са интегрисаним системом наплате карата за јавни превоз. Такође, биће креиран одрживи план урбане мобилности (SUMP) који обједињује ове и друге мјере и активности [2].

4. МЈЕРЕ ЗА ПОБОЉШАЊЕ САОБРАЋАЈА У БАЊОЈ ЛУЦИ

У области саобраћаја дефинисане су краткорочне мјере и веза са стратешким циљевима. Поред приоритетних, назначене су и додатне мјере [2].

Приоритетне мјере:

- Развити политике и стратегије паркирања и управљања аутомобилским саобраћајем: реализовати политику зоне без моторних возила, рационализација паркирања. Политика зоне без моторних возила осмишљена је тако да промовише зону без аутомобила у центру града. Потребно је донијети регулаторне измјене да би се провела политика зоне без аутомобила. Могуће је уредити потпуне и трајне пјешачке зоне у одређеним улицама и саобраћајницама. Може се узети временско ограничење или одредити одређени дан у седмици или мјесецу као “дан без аутомобила”. Стратегија рационализације паркиралишта укључује побољшану примјену прописа и веће накнаде за паркирање, како би се становништво мотивисало на веће коришћење јавног превоза [2].

- Проширити и унаприједити бицикличку инфраструктуру: бицикличке стазе широм града, мрежа за паркирање бицикала у цијелом граду. Предложено је да се уведу одвојене бицикличке стазе широм града, а тамо гдје то није изводљиво треба размотрити траке за бициклички саобраћај. Ове стазе ће бити повезане са кључним локацијама као што су аутобуска станица у центру града, атракције у центру града и локације рада. Мрежа за паркирање бицикала на јавном мјесту у цијелом граду - по могућности у близини подручја гдје постоје значајне концентрације туриста, путника и студената [2].

- Организовати промотивне кампање о заједничком коришћењу (дијељењу) аутомобила, ходању и бициклизму. Шема дијељења аутомобила омогућава краткорочно изнајмљивање возила, насупротив посједовању аутомобила. Главне шеме нуде платформе за изнајмљивање путем “online” апликација. Дијелови промотивне кампање могу бити билборди поред пута, ТВ и радио реклама или у канцеларијама предузећа како би се

подстакло дијелење возње с колегама до и од канцеларије, оснивање аутоklubова у којима чланови могу добити одређене попусте. Циљ промовисања бициклизма у граду је промовисање зеленог и здравијег начина живота, као и дијелења бицикала у града. Провођење кампање за промовисање пјешачења у граду у вези је са другим кампањама развоја немоторизованог превоза [2] а циљ је здравија популација.

- Унапрјеђење инфраструктуре и технологије аутобуских стајалишта: побољшање инфраструктуре аутобуских стајалишта, увођење система пружања услуга информисања путника у реалном времену на аутобуским станицама и стајалиштима. Квалитетно испланиране и постављене аутобуске станице повећавају број корисника јавног превоза. У специфичном контексту Бање Луке, тренутна инфраструктура аутобуских стајалишта треба да се побољша, гдје је примјетан недостатак наткривених аутобуских стајалишта широм града. У граду постоји око 600 аутобуских стајалишта (Стратегија развоја локалних путева и улица за Бању Луку). Информисање путника у реалном времену је аутоматизовани систем за пружање информација корисницима јавног превоза о стању услуге. Информација се путницима може дати на различите начине, укључујући апликације за мобилне телефоне, електронску сигнализацију на перонима и аутобуским стајалиштима и аутоматизоване системе за разглас [2].

- Реализовати инфраструктуру аутобуске мреже: реализовати коридоре приоритетних аутобуских трака, реализовати објекте за модел “park and ride“. Коридори приоритетних аутобуских трака треба да омогуће бржи и безбједнији превоз путника. Аутобуси који саобраћају на улицама Бање Луке тренутно, осим у централној зони града, улици Краља Петра I Карађорђевића, користе заједничку саобраћајну инфраструктуру са осталим учесницима у саобраћају. Давање права првенства јавном превозу на путевима помоћи ће да се скрати вријеме путовања, што је подстицај за кориснике да би прешли са аутомобила на јавни превоз. Модел “park and ride” укључује објекте за паркирање на дужи, као просторе за паркирање аутомобила на којима су омогућене добре везе са јавним превозом. Возило се оставља на паркиралишту и узима по повратку власника. Објекти “park and ride” се углавном налазе на вањским рубовима великих градова. Они треба да предвиде нижу укупну цијену за путовање до центра града у односу на цијену путовања приватним возилима и плаћањем паркинга [2].

- Реализовати приоритетну пјешачку инфраструктуру: имплементација мреже сигнализације пјешачких стаза широм града, реализација проширене градске пјешачке зоне. Бања Лука је релативно раван град што га чини идеалним за шетњу. Реализација градске мреже за пјешаке помогло би да се подстакне и промовише пјешачење, да се обезбједи боља повезаност између градских локација и информација путем пјешачких путоказа широм града.

Имплементирати реформе аутобуског превоза: нови модел оператера градског аутобуског превоза, интегрисана наплата карата у јавном превозу. Треба примијенити нови модел оператера градског аутобуског превоза. Бања Лука тренутно има више аутобуских оператера у граду. Постоји висок степен неефикасности а цијене у ЈПП-у су више у односу на сусједне земље. Од оператера тражити да замијене постојећи аутобуски возни парк економичнијим возилима са смањеном емисијом горива. Интегрисана продаја карата омогућава путнику да се пребацује на различите видове превоза или аутобусе којима управљају различити пружаоци услуга, с једном картом, која вриједи за

комплетно путовање. Такав систем промовише неометано путовање корисника и подстиче људе да користе јавни превоз [2].

Додатне мјере

- Развити политику ниских емисија у саобраћају: примјена политике ниских/нултих емисија из јавног превоза и у зони центра града. Имплементирати инфраструктуру за нискозагађујућа возила и пратећу инфраструктуру: мрежа за пуњење електричних возила на јавним мјестима/на улици, замјена градског возног парка возилима с ниским емисијама.

- Ажурирати план одрживе урбане мобилности за Бању Луку (SUMP).

- Развити програм континуираног прикупљања података о саобраћају у цијелом граду и успоставити моделе мултимодалног саобраћаја широм града.

- Обезбиједити управљање и контролу саобраћаја: центар за контролу и побољшање саобраћајног система за цијели град, еколошка зона наплате саобраћаја у центру града, стратегија рационализације паркирања, коридорске траке за возила са високом попуњеношћу, контролни центар за саобраћајну сигнализацију у граду [2].

5. SMART CITY РЈЕШЕЊА У БАЊОЈ ЛУЦИ

Безбједно регулисање саобраћаја у градовима попут Бање Луке, подразумијева адаптивно вођење саобраћајних токова. То укључује процес дигитализације у саобраћају.

Паметни град (“Smart city”) је све више спомињан појам, којем се полако придружује и Бања Лука [9]. То је визија будућности, према којој се већ иде. Паметни градови проналазе многобројна “паметна” рјешења за боље функционисање: јавним превозом, саобраћајем, испоруком електричне енергије, испоруком воде, одвозом смећа, паркинг локацијама, потрошњом електричне енергије и слично. Паметни град није ништа друго него систем који интегрише различите информационе, комуникацијске и дигиталне технологије [2].

Конфигурација терена и систем уличне мреже у Бањој Луци представљају веома добру основу за увођење ИТС-а.

У граду се већ користи паметни паркинг, односно плаћање паркинга SMS-ом. Реализација и других, одабраних пројеката представља искорак у будућност града. Као највећа урбана цјелина у РС, Бања Лука ће бити предводник ових пројеката и добар примјер за остале градове [10]. Парцијална рјешења примјене интелигентних транспортних система у модернизацији Бање Луке одвијају се кроз више усвојених пројеката.

На конкурс Града Бања Лука и UNDP-а поводом креирања рјешења за пројекат „Бања Лука – град будућности“, између више десетина одабрано је десет пројеката за имплементацију у будућем периоду [2]. Од 2020. године, већина је имплементирана.



Слика 2: Измјена у регулисању саобраћаја на Булевару, Бања Лука

Међу пројектима које је градска управа усвојила је и рјешење Министарства унутрашњих послова РС. Како су из Министарства појаснили, циљ пројекта је да коришћењем технологија "No Seat Belt Detection" и "Detection of Use of Cellphone While Driving" базираних на вјештачкој интелигенцији, превасходно превентивно дјелује на свијест грађана и повећа безбједност у саобраћају.

Захваљујући овом Министарству пуштен је у рад први „Паметни систем за детекцију и обавјештење о кориштењу сигурносног појаса и мобилног телефона" [11]. Прије нешто више од три године на локацији у бањалучком насељу Лазарево инсталирани су паметна камера, радар и ЛЕД дисплеј. Наведени систем детектује некоришћење сигурносног појаса и употребу мобилног телефона приликом управљања моторним возилом. Циљ пројекта је да се коришћењем информационих технологија превентивно дјелује на свијест грађана. Жели се смањити број саобраћајних незгода и подићи ниво саобраћајне културе.

Инсталација паметне камере извршена је изнад саобраћајних трака које се надгледају, ради веће тачности. Има уграђену аналитику за аутоматско препознавање регистарских ознака, детекцију некоришћења сигурносног појаса и коришћење мобилног телефона у вожњи. Камера може радити потпуно самостално и омогућава праћење минимално три саобраћајне траке истовремено. Тачност препознавања је већа од 99%.

На ЛЕД дисплеју се исписују подаци о: кориштењу мобилног телефона од стране возача, некориштењу сигурносног појаса од стране возача и/или сувозача и дневној статистици детектованих прекршаја [12].

Један од циљева овог пројекта је и прикупљање статистичких података о прекршајима у саобраћају. Намјера МУП-а Републике Српске је да се у области безбједности саобраћаја достигну стандарди европски развијених земаља, у којима је коришћење сигурносног појаса преко 93%. Могуће је да ће до 2030. још неки градови у региону инсталирати овакве системе, али засад је Бања Лука предводник у томе. Интелигентни транспортни

систем, аутоматизовани систем информисања и адаптивног вођења саобраћаја [13], треба да помогне граду у реализацији зацртаних циљева.

Другим пројектом, захваљујући информационом систему за адаптивно управљање раскрсницом, минимизирано је вријеме чекања на једној од фреквентнијих раскрсница у граду, у насељу Лазарево. Софтвер прикупљене информације о реалним условима одвијања саобраћаја, обрађује и проналази оптимално рјешење за безбједно кретање свих учесника. Описани систем је независан, са сопственим чувањем података. Посебно је важно што систем може да препозна возила са ротацијом, попут хитне помоћи, ватрогасаца, полиције и да их пропусти.

На територији града инсталисано је на десетине ANPR камера, које имају могућност аутоматског препознавања регистарских ознака и евидентирања нерегистрованих возила у бази података.

Сљедећим пројектом имплементирана је јавна паметна ЛЕД расвјета, заснована на ЛоРаWAN мрежи, у насељу Лазарево. Овим пројектом добија се ефикаснија, јефтинија јавна расвјета, којом се управља на даљину. На овај начин се остварује уштеда електричне енергије до 60%, јер се путем ЛоРА паметних контролера одређене сијалице могу искључити, а могуће је и умањити интензитет свјетлости.

Прије три године пуштено је у рад и прво паметно аутобуско стајалиште. Градска развојна агенцији Бања Лука урадила је пројекат који се односи на побољшање туристичких, саобраћајних и осталих услуга кроз развој паметног аутобуског стајалишта са туристичким инфо дисплејем.

Сљедећи имплементирани пројекат је „BL Bus Tracker”, који омогућава праћење аутобуса у јавном градском саобраћају. У оквиру пројекта, развијена је мобилна апликација која пружа све информације у вези са одређеним градским линијама. Мобилна апликација путницима пружа могућност праћења тренутне позиције аутобуса на мапи града као и процијењено вријеме доласка аутобуса на одабрано стајалиште. У будућности систем би се могао проширити и апликација би могла да се користи за праћење аутобуса на свим градским линијама.

Стратешко одређење града је потпуна модернизација јавног превоза. Наставиће се са увођењем модерних аутобуских стајалишта у ужем дијелу града, у настојању да се удвостучи број корисника јавног превоза. За очекивати је да ће развијени систем подићи квалитет јавног градског превоза у Бањој Луци, чиме би се подстакли грађани да више користе градски превоз.

ИТС систем који преко сензора прикупља податке о стању коловоза, већ је примјењен у дијеловима Бање Луке, у насељима Лазарево 1 и 2. Систем детектује снијег и лед на коловозу и тротоарима и аутоматски може алармисати екипе за одржавање путева.

Просторни план Града Бањалука међу смјерницама за провођење плана истиче неопходност формирања информационог система за потребе планирања простора. WebGIS систем града је успостављен 2007. године са свим постојећим релевантним подацима о катастарским општинама, инфраструктури и изграђеним површинама и објектима. Међутим, у ову базу нису интегрисани детаљни подаци о зеленим површинама, као неизоставним компонентама простора. За бољи живот грађана, а у складу са Green City стандардима, битно је очување зеленила, изградња нових јавних

зелених површина и обogaћивање парковских простора новим садржајима, који ће грађане привући да већи дио времена проводе у рекреацији и одмору.

Да би се тај циљ постигао, неопходно је успоставити базу података о постојећем стању зелених површина. Компанија GeoINNOVA инжењеринг је у оквиру овог иновацијског изазова предложила пројекат под називом "Успостављање ГИС базе података урбаних зелених површина помоћу AreaCAD-GIS платформе" [14]. То је геоинформатички систем за управљање јавним зеленим површинама који за циљ има ефикасније и економичније одржавање, планирање и подизање зелених површина.

6. РЕЗУЛТАТИ ПРИМЈЕНЕ ИНОВАТИВНИХ РЈЕШЕЊА

Резултати примјене иновативних рјешења у Бањој Луци већ су мјерљиви.

Од новембра прошле године у центру Бање Луке заступљен је нови режим једносмјерног саобраћаја. **Будући да је у току велика трансформација и модернизација саобраћаја у Бањој Луци, увођење једносмјерног режима у улици Краља Петра I Карађорђевића изазвало је, очекивано, различите реакције Бањалучана [15]. Свака промјена захтијева и период прилагођавања, а потребно је и одређено вријеме како би се утврдила конкретна добит, али и недостаци.**

Управо увођењем једносмјерних улица у ужем центру Бање Луке требало би да се стане у крај свакодневних гужвама, те допринесе побољшању одвијања саобраћаја, развоја јавног превоза и бисиклистичког саобраћаја.

Нови концепт саобраћаја донио је нове бицикличке површине, које су физички одвојене од простора за моторна возила. Ту су и посебне саобраћајне траке за јавни превоз и таксисте. Кружни токови, у комбинацији са једносмјерним улицама, треба да омогуће већи проток аутомобила и гранање саобраћаја без загушења, што би заједно требало довести до растерећења саобраћајних гужви [16]. **Све ово, уједно, представља и визију развоја града по принципима одрживе мобилности. Једносмјерне улице често доносе многе предности, нарочито у дијеловима градова које су саобраћајне жиле куцавице. У многим случајевима, једносмјерне улице могу олакшати бржи и ефикаснији проток саобраћаја јер нема потребе за заустављањем због возила која наилазе из супротног смера. Увођењем једносмјерне улице у центру града створен је простор за формирање одвојених бицикличких површина, али и посебних трака које ће користити путници јавног превоза, као и путници у такси возилима.**

На овај начин Град жели да подигне свијест грађана о користима бицикла као превозног средства што ће допринијети мањој гужви, али и мањем загађењу ваздуха у централној градској зони. Новим бицикличким стазама и уз реорганизацију јавног градског превоза, створили би се далеко бољи еколошки услови у саобраћају.

7. ЗАКЉУЧАК

Бања Лука жели одржати репутацију "града зеленила" и у будућности се види као зелени и паметни град. Усвајањем Стратегије развоја Града, Бања Лука добија стратешке правце развоја у више области, нарочито у саобраћају.

Град је у задњих неколико година реализовано више пројеката у којима је извршена примјена интелигентног регулисања саобраћаја. Циљ је бржи, функционалнији и безбједнији саобраћај.

Реализовањем наведених пројеката, повећањем цијене паркирања у централним зонама, модернизацијом јавног градског превоза и изградњом одвојених површина за бициклисте, стварају се много бољи услови за бржи и безбједнији саобраћај у Бањој Луци.

Бања Лука је област саобраћаја поставила као један од најзначајнија сегмената развоја и у наредном периоду па је за очекивати да ова област настави са започетом модернизацијом и развојем.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] https://bs.wikipedia.org/wiki/Banja_Luka
- [2] <https://ebrdgreencities.com/assets/Uploads/PDF/EBRD-Banja-Luka-GCAP-LL.pdf>
- [3] <https://oblikujmo.net/wp-content/uploads/2018/03/nacrt-strategija-2018-2027.pdf>
- [4] https://www.banjaluka.rs.ba/wp-content/uploads/2018/10/Strategija_razvoja_BL_nacrt.pdf
- [5] <https://www.banjaluka.com/drustvo/banjaluka-prva-u-bih-pokrenula-pripremu-akcionog-plana-zelenog-grad-a/>
- [6] <https://banjaluka.net/ekoloska-rjesenja-krajem-godine-izrada-akcionog-plana-zeleni-grad-na-pola-puta/>
- [7] <https://enef.etfbl.net/2021/resources/Radovi/.pdf>
- [8] <https://www.banjaluka.rs.ba/wp-content/uploads/2023/02/LEAP-nacrt-2022-2027.pdf>
- [9] <https://ba.ekapija.com/special/index/80/smart-city-rjesenja-u-banjaluci>
- [10] <https://srpskainfo.com/inovativno-rjesenje-za-guzve-u-saobracaju-banjaluka-ce-prva-imati-pametni-semafor-u-regionu/>
- [11] Лазић, С., Аврамовић, Ж. З., Маринковић, Д.: „Примјена ИТС-а у побољшању услова одвијања саобраћаја у Бањој Луци“, XV међународни научно-стручни скуп ИтеО 2023, Паневропски Универзитет Апеирон, Бања Лука, 154-161, (2023)
- [12] <https://srpskacafe.com/2021/04/banjaluka-nove-kamere-u-blizini-lesnine-ne-love-prekrsaje>
- [13] Лазић, Д. С., Аврамовић, Ж. З.: “Применение интеллектуальных транспортных систем в Баян –Луке и Республице Сербской“, Международная научно-практическая конференция „Интеллектуальные транспортные системы“, Российский транспортный Университет (МИИТ), Москва, 26 мая 2022 г. (462-468), UDC 001.818: 001.891
- [14] <https://ba.ekapija.com/news/2986943/banjaluka-grad-buducnosti-geoinova-radi-na-uspostavljanju-gis-baze-podataka-urbanih-zelenih>
- [15] <https://srpskainfo.com/svi-su-na-dobitku-gradonacelnik-pozvao-gradjane-na-oprez-novi-jednosmjerni-saobracaj>
- [16] <https://www.blink.ba/banjaluka-ce-prodisati-grad-dobija-cetiri-nova-kruzna-toka>



XVI međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITEO 2024

Banja Luka, 27 - 28. 9. 2024. godine



NAPREDNE INFORMACIONE TEHNOLOGIJE U KONTEJNERSKIM TERMINALIMA

Boris R. Mikanović

Doktorand na Panevropskom univerzitetu APEIRON Banja Luka, RS, BiH, boris.r.mikanovic@apeiron-edu.eu

Sažetak: *Informacione tehnologije su postale nezamjenjivi segment koji povećavaju konkurentnost kontejnerskih terminala, efikasnost, pouzdanost i bezbjednost, a olakšavaju komunikaciju i poboljšavaju donošenje odluka. Lanci snabdijevanja treba da integrišu različite mreže i učesnike u cilju koordinacije robnih tokova. Upravljanje informacijama i digitalna transformacija igraju ključnu ulogu za usklađivanje, smanjenje troškova, prilagođavanje kontejnerskih terminala uskim grlima kapaciteta i problemima pristupačnosti. Razvoj kontejnerskih terminala obuhvata inovativna tehnološka rješenja. Ova rješenja podrazumijevaju instrumentalizaciju i informacione sisteme koji integrišu velike količine podataka. U ovom radu biće predstavljen koncept pametnog kontejnerskog terminala sa određivanjem njegovih glavnih aktivnosti koji dovode do veće produktivnosti poput globalnog pozicionog sistema, radiofrekventne identifikacije, 5G mreže, blockchain tehnologije, tehnologije „digitalni blizanci“, optičko prepoznavanja znakova i informatičke bezbjednosti.*

Ključne riječi: *pametni kontejnerski terminal, RFID, blockchain, 5G, OCR, digitalni blizanci.*

1. UVOD

Promjenljivost u ekonomiji mnogih zemalja u posljednjim decenijama i povećanje globalne konkurentnosti doveli su snažnih trendova u inovacijama, posebno u razvijenim zemljama. Povećanje pomorske trgovine u svjetskim okvirima rezultiralo je većim brojem pretovara u kontejnerskim terminalima, posebno u lučkim kontejnerskim terminalima. Učešće kontejnera u pomorskoj trgovini rapidno raste iz godinu u godinu. Upotreba kontejnera u transportu ima mnoge prednosti zbog njihove univerzalnosti, standardizacije i brzine pretovara u procesu transporta. Kontejnerski transport interkontinentalnim morskim putem čini oko 80% globalne trgovine. Kontejnerski terminali predstavljaju transportna čvorišta koja se suočavaju sa velikim izazovima organizacije. Kontejnerski terminali u morskim lukama će predstavljati fokus ovog rada jer obuhvataju veliki broj učesnika koji intermodalni transport čine još komplikovanijim. Očekuje se da će promet u svjetskim kontejnerskim lukama biti oko 1,4 milijarde TEU (*engl. Twenty-foot equivalent unit*) do 2026. godine. Zbog ekspanzije kontejnerskog transporta, potrebni su veći kontejnerski brodovi, što iziskuje razvoj pametnih kontejnerskih terminala koji koriste napredne tehnologije i inteligentne sisteme kako bi se zadovoljile potrebe za efikasnim rukovanjem kontejnerima.

Dok su informacijski sistemi postali neophodni za planiranje i upravljanje u kontejnerskim terminalima, trenutni talas digitalizacije teži boljoj integraciji i transparentnosti među svim dijelovima lanca snabdijevanja. Efikasne usluge kontejnerskog terminala su poželjne zbog potrebe da se smanji vrijeme isporuke i poveća produktivnost terminalnih operacija. Ovakvi ishodi se ne mogu postići bez informacijskih i komunikacijskih tehnologija. Ključni faktori koji doprinose efikasnim uslugama rukovanja kontejnerima uključuju smanjenje vremena boravka kontejnera u terminalu i minimiziranje troškova pretovara.

Ovaj rad predstavlja analizu tehnologija koje pomažu u digitalizaciji operacija i procesa kontejnerskog terminala. Tehnologije koje će biti obrađene u radu su globalni pozicioni sistem, radiofrekventna identifikacija, 5G mreža, „blockchain“ tehnologija, „digital twins“ tehnologija, optičko prepoznavanje znakova i informatička bezbjednost.

2. KONCEPT PAMETNIH KONTEJNERSKIH TERMINALA

Posljednjih godina, mnogi kontejnerski terminali su aktivno započeli izgradnju pametnih luka i postigli su značajne rezultate. Produktivnost kontejnerskog terminala zahtjeva intenzivnu i blagovremenu komunikaciju sa spoljnim stranama. Spoljne strane podrazumijevaju agente brodskih linija, špeditere, drumske i željezničke kompanije, carine i policiju. Emisija gasova staklene bašte porasla je za 4,7% između 2020. i 2023. godine. [9] Takav trend se pripisuje starenju flote širom svijeta, budući da stariji brodovi generišu veće zagađenje. Prelazak na novu generaciju elektrificiranih brodova zahtjeva „pametne“ digitalne sisteme.



Slika 1. Električni i autonomni kontejnerski brod Yara Birkeland [19]

Yara Birkeland je jedan od prvih električnih i autonomnih kontejnerskih brodova na svijetu. Dugačak je oko 80 metara, radi sa baterijom od 6 MWh, može da dostigne brzinu od 28 km/h i ima kapacitet od preko 100 TEU. Može da nosi masu do 3200 tona. [9]

U savremenom intermodalnom transportu, radi se o tranziciji kontejnera od njihovog izora do krajnje tačke kroz više vidova transporta kao što su pomorski putevi, željeznica, drum i vazdušni

putevi. [10] Lanac transporta kontejnera ima mnogo tačaka što zahtjeva veoma napredni digitalni sistem.



Slika 2. Kontejnerski terminali kao važan dio lanca snabdijevanja [20]

2.1. Prva generacija kontejnerskih terminala (1980-1990)

Tokom 1980-ih godina ustanovljene su tradicionalne procedure za organizovanje kontejnerskih terminala koje su podrazumijevale procedure zasnovane na zapisima na papiru što je bilo veoma složeno, dugotrajno, sklono greškama i skupo. Za rukovanje ogromnim količinama kontejnerskog tereta razvoj EDI-a (elektronska razmjena podataka) tokom 1960-ih i 1970-ih godina stvorio je osnovu za prvu generaciju digitalne transformacije u pomorskim kontejnerskim terminalima. Efikasan kontejnerski transport i njegovo rukovanje u velikoj mjeri zavise od svih uključenih organizacija, tako da je potreba za sistemima za podržavanje komunikacije postala sve očiglednija.

Prva upotreba EDI tehnologije u kontejnerskim terminalima je bila 1983. godine sa DAKOSY u luci Hamburg u Njemačkoj. DAKOSY je softverska kompanija za logistiku koja nudi digitalna rješenja za međunarodnu špediciju i carinjenje, kao i upravljanje lancem snabdijevanja. [11]

Krajem 1980-ih godina, razvijeni su prvi komercijalni TOS (*engl. Terminal Operating System*) kao što su CITOS (*engl. Computer Integrated Terminal Operating System*) 1988. i NAVIS 1989, te su izgrađeni temelji za automatizaciju kontejnerskih terminala. [13] Generalno TOS se može definisati kao informacioni sistem koji pomaže pri integrisanom upravljanju ključnim terminalnim procesima. Uobičajeni TOS podržava EDI standarde. [11]

2.2. Druga generacija kontejnerskih terminala (1990-2010)

Uvedene informacione tehnologije i sistemi, kao što je TOS, pružili su baznu osnovu za drastično povećanje automatizacije pri rukovanju kontejnerima tokom 1990-ih i 2000-ih. Prvi automatizovani kontejnerski terminal bio je ECT Delta Terminal u Roterdamu u Holandiji koji je otvoren 1993. godine. [13] Ovaj terminal je uveo automatski vođena vozila (*engl. Automatic guided vehicles - AGV*) i automatizovane dizalice za slaganje (*engl. Automatic stacking cranes - ASC*) kontejnera unutar terminala.



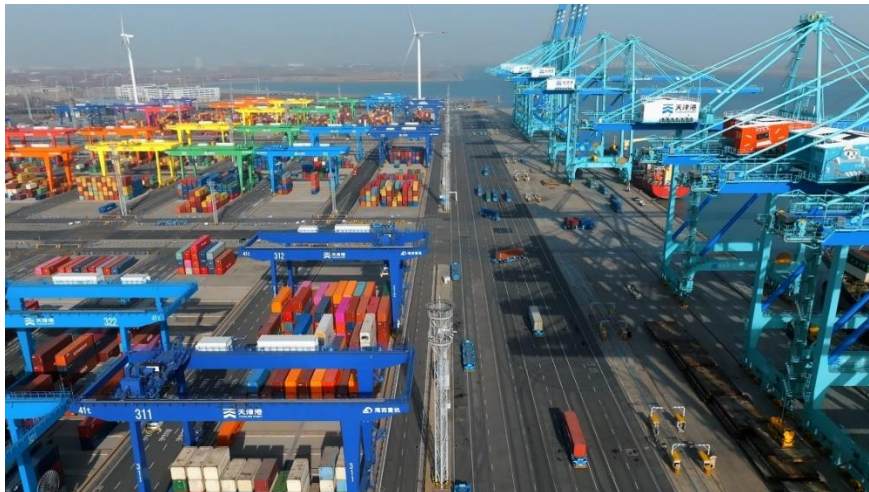
Slika 3. ECT Delta Terminal u Roterdamu u Holandiji [21]

Veliki korak u automatizaciji kontejnerskih terminala zahtjevao je besprjekornu integraciju između automatizovane opreme za rukovanje kontejnerima i TOS-a. Tehnologije za automatsku identifikaciju (*engl. real-time locating systems – RTLS*) i tehnologije pozicioniranja (*engl. global positioning system – GPS*) uvedene su sredinom 1990-ih da bi poboljšali efikasnost i bezbjednost terminalnih operacija. Krajem 1990-ih godina, predstavljeni su prvi sistemi optičkog prepoznavanja karaktera (*engl. optical character recognition – OCR*). U kontejnerskom terminalu Los Angeles u Sjedinjenim Američkim Državama 2002. godine počeo je sa radom prvi sistem rezervacije kamiona za dolaske u terminal. Krajem XX vijeka raste interesovanje za sisteme e-trgovine. Da bi se olakšala trgovina i otprema, upravljanje između pevoznika i špeditera, razvijen je 2000. godine INTTRA koji predstavlja platformu za planiranje, rezervaciju i praćenje kontejnerske pošiljke. [13] Tokom ekonomske krize u svijetu 2008. godine predstavljene su dvije ključne strategije. Prva strategija ima za cilj jačanje saradnje između kontejnerskih terminala, a druga strategija se odnosi na poboljšanje koordinacije između učesnika u terminalu.

2.3. Treća generacija pametnih kontejnerskih terminala (2010 – danas)

Dok su se prva i druga generacija uglavnom fokusirale na bolje informisanje u terminalima, tekuća treća generacija digitalne transformacije ima za cilj da olakša komunikaciju u realnom vremenu radi poboljšanja vidljivosti, automatizacije, koordinacije, saradnje i odziva u međuorganizacionim procesima. [13]

Usvajanje savremenih informacionih tehnologija ukazuje na to da glavni učesnici, kao što su rukovodstvo i operateri terminala, sve više proširuju svoj tradicionalni obim poslovanja djelujući kao integrator informacija i provajder.



Slika 4. Pametni kontejnerski terminal u gradu Tianjin u Kini [22]

Kontejnerska Luka Tianjin u Kini je jedna od sedam najvećih svjetskih luka sa godišnjim protokom preko 20 miliona TEU (*engl. Twenty foot equivalent unit*) i 20.000 zaposlenih. Rješenje ove „pametne luke“ koristi najnovije tehnologije poput „Intelligent twins“, autonomnu vožnju, 5G, računarstvo u oblaku i „Internet of Things“ da bi stvorili bolji, autonomni i povezan sistem. Danas ovom kontejnerskom terminalu je potrebno 60% manje osoblja nego ranije. Vozači sada upravljaju kamionima na daljinu. Ovakva rješenja pomažu u uštedi novca, smanjujuću ukupne troškove za oko 60%. Kontejnerska luka Tianjin proizvodi sopstvenu obnovljivu energiju, dopunjujući druge tradicionalne izvore energije. Takođe, luka istovremeno troši 17% manje energije. [18] Terminal na obali ima najveću flotu bez vozača od 76 vozila. Najsavremenije rješenje u luci Tianjin donosi novi inteligentni sistem koji povezuje operacije u luci, automatizuje transport i povećava efikasnost, uz uštedu troškova i energije.

2.4. Operativne oblasti kontejnerskih terminala

U kontejnerskom terminalu postoje sljedeće operativne oblasti: oblast za plovila, vezovi, intralogistika, odlagalište i kapija.



Slika 5. Operativne oblasti u kontejnerskom terminalu

Oblast za plovila podrazumijeva oblast gdje kranovi upravljaju brodovima. Broj dizalica varira u zavisnosti od veličine i zapremine kontejnera kojim se rukuje. [4]

Oblast za vezove ili sidrišta za brodove podrazumijeva da svakom kontejnerskom brodu koji stigne na terminal bude dodijeljen vez i lokacija gdje brod može pristati. Karakteristike mjesta za smještanje kontejnerskog broda su dužina, gaz (dubina), oprema (dizalice) i drugi servisni objekti.

Oblast intralogistike podrazumijeva da se kontejneri premještaju sa veza na odlagalište da bi se slagali ili postavljali u neko područje za otpremu ili se kontejneri sa odlagališta isporučuju do portalne dizalice na vezu da bi se izvršio utovar na plovila. Informacije o novom kontejneru kao što su broj, masa, pečat i ostale se bilježe zajedno sa lokacijom u centralnu bazu podataka. Kontejneri koji napuštaju odlagalište evidentiraju se i obavještavaju centralni informacijski sistem da je njihova lokacija slobodna i da će nadalje kontejner biti dat portalnoj dizalici zbog utovara na plovilo.

Postoje tri glavna sistema skladištenja kontejnera na odlagalištu: kratkoročni, dugoročni i specijalizovani. Specijalizovani sistem skladištenja rezervisan je za rashladne, prazne kontejnere i za kontejnere sa opasnim materijama i rasute terete u kontejnerima. [4]

Oblast kapije u kontejnerskom terminalu podrazumijeva upravljanje ovom oblašću da bi se dobile informacije o kontejnerima koji dolaze u terminal kako bi se pravilno rukovalo sa istim prije dolaska broda ili pravilno rukovanje izvoznim kontejnerima prije dolaska drumskih vozila ili željeznice. Kontrola ovog pristupa terminalu je važna jer utiče na druge sisteme u kontejnerskom terminalu. Podaci koji se prikupljaju su broj kontejnera, masa, luka odredišta, IMO broj (broj Međunarodne pomorske organizacije koji mora biti dodijeljen brodu, vlasniku broda ili kompaniji), pošiljalac, brodska linija i broj pečata koji prikazuje gdje će se kontejner skladištiti i kasnije pripremiti za utovar.

2.5. Procesi u kontejnerskim terminalima

Postoje različiti procesi koji su potrebni za izvršenje prethodno navedenih operacija. Glavni procesi koji su bitni za rukovanje kontejnerima su sljedeći: [12]

- 1) *Razmjena informacija*: Prilikom verifikacije teretnog transporta i validacije statusa razmjenjuju se pošiljke, primopredaja odgovornosti, carinska dokumenta itd. Da bi se izvršili zadaci alokacije, raspoređivanja i upravljanja, adekvatni alati omogućuju skladištenje, obradu, dijeljenje itd;

- 2) *Praćenje*: Lokacija i identifikacija opreme su podjednako važni za lokaciju samog kontejnera. Poboljšana vidljivost sredstava, kao što je oprema za rukovanje kontejnerima i osoblja dovodi do veće produktivnosti;
- 3) *Sortiranje i obrada*: Kao jedan veliki sistem, kontejnerski terminal stalno sortira dolazne i odlazne kontejnere na osnovu definisanih kriterijuma i pravila. Upravljanje kontejnerskim terminalom zahtjeva efikasnu kontrolu raznih operacija koji zahtjevaju stručno znanje i korišćenje računara u cilju izvršavanja željenih odluka;
- 4) *Upravljanje resursima*: Za rukovanje kontejnerima koriste se različite specijalizovane vrste opreme. Za operatore cilj je efikasno korišćenje opreme, prostora, broja radnika i drugih resursa kako bi se minimizirali troškovi uz postizanje visokih performansi;
- 5) *Planiranje*: To je proces na koji utiču mnogi faktori koji često se ne mogu kontrolisati poput vremenskih prilika, štrajkova, saobraćajne gužve itd. Na primjer, pristigli kontejneri zahtjevaju koordinaciju sa ostalim operacijama na odlagalištu i dostupnosti radne snage za rukovanje kontejnerima;
- 6) *Integrirani procesi*: Različiti informacioni sistemi su na raspolaganju menadžmentu kontejnerskog terminala da bi integrirali sve procese.

3. NAPREDNE INFORMACIONE TEHNOLOGIJE U KONTEJNERSKIM TERMINALIMA

Prikupljanje operativnih podataka u kontejnerskim terminalima u velikoj mjeri zavisi od informaciono-tehnoloških rješenja. Postoje sljedeća tehnološka rješenja: sistemi koji pružaju informacije i sistemi za podršku odlučivanju.

3.1. Globalni pozicioni sistem

Od sredine 1990-ih godina GPS (*engl. Global Positioning System*) su instalirani u kontejnerskim terminalima. Generalno, GPS omogućava otkrivanje položaja i praćenje pokretnih objekata kao što su kontejneri, plovila, vozila i oprema. Za plovila, GPS je postao primarna pomoć u navigaciji i van lučkog područja. [14]



Slika 6. DGPS u kontejnerskim terminalima [23]

U kontejnerskim terminalima se koristi diferencijalni DGPS (*engl. Differential Global Positioning System*) koji se koristi za preciznu identifikaciju i praćenje pozicije kontejnera u kontejnerskom terminalu. Za korišćenje ove tehnologije potrebni su DGPS prijemnici koji se postavljaju širom kontejnerskog terminala. DGPS poboljšava GPS tako što postoje fiksne referentne stanice koje izračunavaju razliku između tačno poznate lokacije i GPS pozicioniranja. [14] U primjeni DGPS mjeri koordinate kontejnerskog terminala i izračunava položaj kontejnera prenoseći ga na odgovarajući informacijski sistem. DGPS takođe može da služi kao navigacioni sistem za bespilotne letjelice i automatski vođena vozila.

Alternative DGPS-u su optički zasnovani sistemi, posebno laserski i radarski, koji se ponekad kombinuju da bi se obezbijedila veća pouzdanost. Patentirana tehnologija radara za lokalno pozicioniranje koju je razvio Siemens, primjenjena je u nekoliko velikih kontejnerskih terminala, a između ostalih i u HHLA Container Terminal Burchardkai (CTB) u Hamburgu u Njemačkoj pružajući visoku preciznost i tačnost, posebno u oblastima gdje GPS ne može biti primjenjen. [17]

3.2. Radiofrekventna identifikacija

RFID (*engl. Radio-Frequency Identification*) tehnologija je sistem za bežično prepoznavanje i praćenje objekata ili živih bića pomoću RFID uređaja. Ova tehnologija koristi radio talase za komunikaciju između RFID tagova i čitača. RFID oznaka sadrži radio antenu pričvršćenu za mikročip koji sadrži informacije o označenom objektu. RFID oznake mogu biti aktivne i pasivne. [1] Aktivne RFID oznake imaju vlastito napajanje putem baterija, a pasivne RFID oznake dobijaju električnu energiju putem RFID čitača. [3]



Slika 7. RFID tehnologija u kontejnerskom transportu [24]

Veličina RFID oznaka je manja tako da se može pričvrstiti na samoljepljive (pametne) etikete. Frekvencija RFID sistema određuje očitavanje podataka i brzinu prenosa. [3] Drugi oblik komunikacije je NFC (*engl. Near-field communication*) koji je zasnovan na RFID-u, ali ima ograničen opseg korišćenja na oko 10 cm.



Slika 8. Plombe za zaključavanje kontejnera [25]

Bezbednost transporta kontejnera podrazumijeva sigurnosne plombe koje predstavljaju uređaje za zaključavanje transportnih kontejnera. [2] Ovaj uređaj za indikaciju neovlašćenog pristupa je pričvršćen za mehanizam za zaključavanje vrata kontejnera. [5] Međunarodni standard ISO 17712:2013 objedinjuje zahtjeve, procedure za klasifikaciju sigurnosnih plombi za zaključavanje kontejnera.

3.3. 5G mreža u kontejnerskim terminalima

Implementacija 5G ili 6G mreže u kontejnerskim terminalima može da se obezbijedi mobilni i robustan komunikacioni sistem sa malim kašnjenjem, poboljšan propusni opseg i kapacitet koji je u stanju da prikupi i obradi ogromne količine podataka koje proizvodi informaciona mreža terminala. Sastoji se od brojnih bežičnih uređaja, baze podataka i drugih pametnih senzora koji uspostavljaju sveobuhvatnu komunikacionu mrežu između brodova, teretnih terminala i drugih. 5G mreže promoviraju efikasne, međusobno povezane, autonomne i bezbjedne operacije kontejnerskog terminala uz jačanje kokurentnosti i održivosti. [7] Korišćenje energije i troškovi rada su takođe smanjeni prilikom rukovanja automatizovanim dizalicama, autonomnim vozilima, dronovima itd. Neki primjeri kontejnerskih terminala koji koriste 5G mrežu su Šangaj u Kini i Santos u Brazilu. [5]

Luka Šangaj ima najveći automatizovani kontejnerski terminal na svijetu. Operativni plan pristaništa je podržan računarskim sistemima. [5] Opremom kao što su dizalice i automatizovani kamioni upravlja se preko monitora u kabinama operatera. Ovo omogućava daljinsko upravljanje kretanjem kontejnera i kamiona preko komandi putem bežične 5G veze.



Slika 9. 5G mreža u lukama Šangaj i Santos [26, 27]

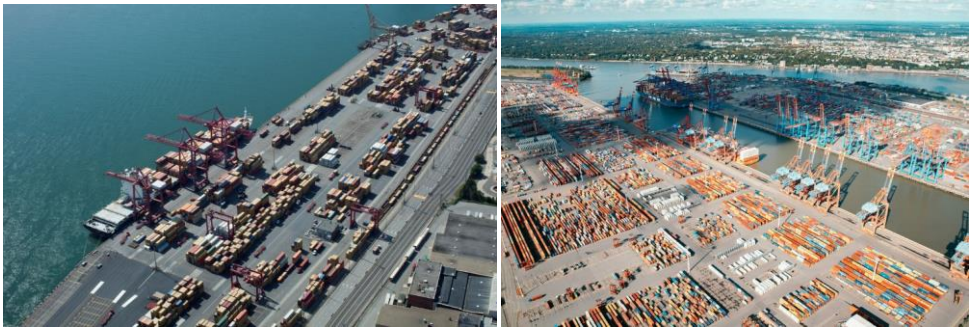
Luka Santos je ključni kontejnerski terminal u Južnoj Americi koji vrši implementaciju 5G mreže. Ova mreža radi na brzini od 3,5 GHz čime se poboljšava kontakt između zaposlenih i omogućava daljinsko upravljanje opremom u realnom vremenu. [5]

3.4. „Blockchain“ tehnologija u kontejnerskim lukama

„Blockchain“ ili lančani blokovi predstavljaju bazu podataka koja se ne nalazi na jednom mjestu, već je čine manje baze (blokovi) koji su međusobno digitalno povezani, a koji sadrže potrebne informacije. Ova napredna tehnologija će svakako poboljšati operacije u pametnim kontejnerskim terminalima čime će se povećati efikasnost lanca pomorskog snabdijevanja. „Blockchain“ tehnologija takođe može pomoći kontejnerskim terminalima da bolje upravljaju operacijama, smanjujući vrijeme ručne obrade, smanjujući rizik grešaka i povećanje nivoa transparentnosti u njihovim procesima. [6] Primjeri primjene „blockchain“ tehnologije svakako su kontejnerski terminali Montreal u Kanadi i Hamburg u Njemačkoj.

Luka Montreal je glavna kontejnerska luka u Kanadi koja sprovodi tehnologiju pametnih pomorskih luka za povećanje efikasnosti, smanjenje zagušenja u intermodalnom transportu i konkurentnost. Univerzitet Konkordija i nekoliko kompanija specijalizovanih za brojne oblasti

kao što su automatizacija, robotika i vještačka inteligencija radili su implementaciju „blockchain“ tehnologije u luci Montreal. Među njima je i „CANSCAN“ koji povezuje terminalne kamere, obrađuje slike, identifikuje probleme sa kontejnerima i prosljeđuje potrebne informacije. Tokom pandemije COVID-a uspostavljeno je „CARGO2AI“ rješenje koje je olakšalo rukovanje kritičnim teretima koji su brzo i efikasno trebalo da stignu do populacije kojoj su potrebni. U novije vrijeme atraktivan je alat „AIGalileo“ koji bi trebalo da poboljša višekriterijumsko planiranje za ljudsku radnu snagu terminala i predviđanje vremena dolaska brodova do 21 dan unaprijed. [8] Da bi ojačale trgovinsku sigurnost, rukovodstvo terminala je sklopilo ugovore sa IBM i A.P. Moller- Maersk.



Slika 10. Blockchain tehnologije u lukama Montreal i Hamburg [28, 29]

Luka Hamburg u Njemačkoj ulaže značajna sredstva u nove tehnologije kako bi poboljšala svoje poslovanje i postala lider u oblasti pametnih luka. „Blockchain“ tehnologija se implementira zajedno sa integrisanim pametnim ugovorima, projektom koji je započeo 2018. godine. Trenutno luka Hamburg ulaže velika sredstva za rješenje „pametne luke“ koja podrazumijeva logistiku i upravljanje energijom što omogućava upravljanje u realnom vremenu, praćenje i podršku, kao i snabdijevanje brodova obnovljivom energijom. [15] Instaliraju se komplementarni IoT (*engl. Internet of Things*) senzori za praćenje parametara zagađenja, brzine i smjera vjeta, temperature itd. Takođe, terminalne vlasti unapređuju e-mobilnost, upravljanje parkiranjem (pametna logistička aplikacija za drumska vozila) i održivi razvoj same luke.

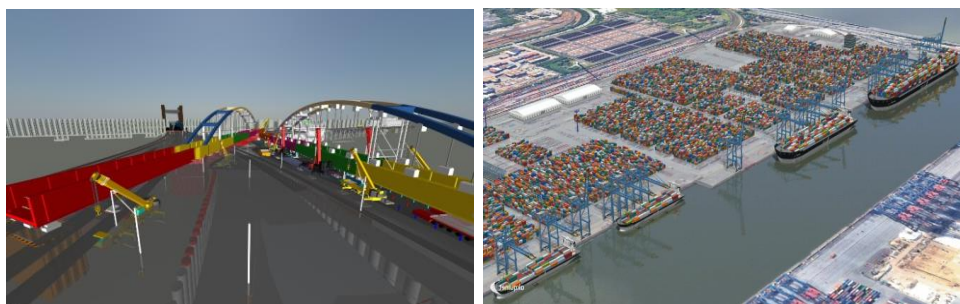
3.5. Tehnologija „digital twins“ u kontejnerskim terminalima

Digitalni blizanci (*engl. digital twins*) su relativno nova tehnologija koja posljednjih godina postaje sve popularnija. Digitalni blizanci su virtuelni model fizičkog objekta, sistema ili procesa koji se kreira u realnom vremenu. Uz pomoć nekih komplementarnih alata za modeliranje, „digital twins“ omogućavaju menadžerima kontejnerskih terminala da kreiraju virtuelnu repliku fizičkog okruženja terminala u informacioni sistem. [17] Ova tehnologija se sve više koristi u pametnim kontejnerskim terminalima za praćenje i optimizaciju različitih elemenata, kao što su dizalice, kontejneri, vozila, kapije, vezovi, skladišni prostori i brodovi. Prikupljanjem podataka sa senzora i drugih uređaja instaliranih širom terminala, sa podrškom IoT i vještačke inteligencije, ova tehnologija može stvoriti sveobuhvatan pogled na kontejnerski terminal. Uvođenje ove tehnologije zahtjeva značajna ulaganja u računarske resurse, da bi „digital twins“ omogućio menadžerima kontejnerskog terminala da brzo identifikuju probleme i odgovore na

njih. Još jedna prednost „digital twins“ je mogućnost simulacije različitih scenarija. Kreiranjem virtuelnih replika okruženja terminala, menadžeri mogu testirati različite rasporede, konfiguracije opreme i obrasce saobraćaja da bi se odredilo optimalno podešavanje. Ove simulacije takođe se koriste za optimizaciju raspodjele resursa i poboljšanje operativne bezbjednosti. Upotreba „digital twins“ u kontejnerskim terminalima može pomoći u smanjenju potrošnje energije i uticaja na životnu sredinu. Rukovodstvo terminala može smanjiti energiju potrebnu za kretanje robe praćenjem i optimizacijom performansi različitih elemenata. Ovo smanjenje potrošnje energije može dovesti do nižeg nivoa emisije štetnih gasova.

Sa površinom od preko 106 km² koja obrađuje 30.000 pomorskih plovila godišnje, kontejnerski terminal Rotterdam prolazi kroz značajnu transformaciju kako bi unaprijedio sposobnost svojih plovila da autonomno uđu ili napuste terminal/luku do 2030. godine. [16] U tu svrhu kompanije ulažu u „digital twins“ tehnologiju kako bi se smanjio broj plovila, vrijeme čekanja/potrošnja goriva i poboljšalo rukovanje teretom.

Pored Roterdama, kontejnerski terminal Antwerpen-Briž je jedna od najvećih morskih luka u Evropi. Napori za digitalizaciju su uglavnom usmjereni na postavljanje tehnologije „digital twins“. „Digital twins“ pruža 3D digitalnu mapu terminala sa informacijama u realnom vremenu o pozicioniranju broda, balansiranju lanca snabdijevanja energijom čime se promovira efikasniji i bezbjedni uslovi rada. Podaci potiču iz digitalnih kamera (preko 600) i senzora (za identifikaciju štetnih gasova), koji omogućavaju precizno pristajanje broda, smanjeno vrijeme čekanja i optimizovano preventivno održavanje. [16] Tehnologijom „digital twins“ se upravlja preko aplikacije Advanced Port Information & Control Assistant (APICA) koja je konfigurisana sa 3D interfejsom. U budućnosti se ulažu napori da se implementiraju autonomni čamci i dronovi.



Slika 11. Tehnologija „digital twins“ u kontejnerskim terminalima Rotterdam i Antwerpen-Briž [30, 31]

3.6. Sistemi optičkog prepoznavanja znakova

Sistemi optičkog prepoznavanja znakova (*engl. Optical character recognition - OCR*) omogućavaju automatsko prepoznavanje alfanumeričkih i rukom pisanih znakova u skeniranim dokumentima ili slikama. Istraživanje i razvoj OCR sistema je aktivan od sredine 1950-ih godina i trenutno su došli u fazu da mogu da prepoznaju ljudska lica, tumače riječi i kategorišu dokumente. [1] Neke studije predlažu metode za poboljšanje automatskog prepoznavanja brojeva kontejnera. Postoji nekoliko primjena OCR sistema u modernim kontejnerskim terminalima.



Slika 12. OCR sistem u kontejnerskim terminalima [32, 33]

OCR sistemi se često instaliraju na kapiji terminala za djelimično automatizovanje administrativnih procedura. Prema tome, na kapijama terminala može da se obrađuje više kontejnera bez potrebe za dodatnim osobljem. Takođe, dolazni i odlazni željeznički saobraćaj u terminalu može se obraditi OCR sistemom. OCR sistemi su postavljeni širom terminala i omogućuju razmjenu podataka u realnom vremenu koji služe za identifikaciju kontejnera da bi se spriječile i smanjile greške kao što je istovar pogrešnog kontejnera. OCR sistemi se koriste za praćenje i identifikaciju željezničkih vagona koji dolaze i odlaze iz kontejnerskog terminala. [7] Budući da ulazne i izlazne kapije kontejnerskog terminala predstavljaju potencijalna „uska grla“, mnogi operateri su implementirali predkapije da bi se razdvojila procedura provjere i evidentiranja, te omogućio pristup glavnoj kapiji terminala.

3.7. Informatička bezbjednost u kontejnerskim terminalima

Uvođenje digitalnih tehnologija u kontejnerske terminale zahtjeva informatičku bezbjednost jer takvi sistemi postaju sve ranjivi na sajber prijetnje. Informatička bezbjednost u kontejnerskim terminalima podrazumijeva zabranu neovlašćenog pristupa, prometa nelegalne robe ili ljudi. Operateri terminala moraju primijeniti velike mjere informatičke bezbjednosti kako bi zaštitili svoje sisteme i infrastrukturu. Operateri moraju da implementiraju protokole sajber bezbjednosti u svim sistemima terminala kako bi obezbijedili njihovu opštu bezbjednost. [5] Pametni kontejnerski terminali trebaju da sprovedu stroge kontrole pristupa kako bi se spriječio neovlašćen pristup njihovim sistemima. Operateri terminala trebaju da obezbijede da njihovi zaposleni budu svjesni prijetnji sajber bezbjednosti.

Kontejnerski terminal Los Angeles u Sjedinjenim Američkim Državama ulaže velike napore da u potpunosti ima epitet „pametne luke“, od razvoja „Cargomatic Free Flow“ programa za primjenu alata za podatke u oblaku „The Signal“. Godine 2014. u ovom terminalu je osnovan Operativni centar za sajber bezbjednost (*engl. Cyber Security Operations Center - CSOC*). [15] Operativni centar za sajber bezbjednost djeluje kao centralizovano čvorište koje omogućuje proaktivno praćenje internog tehnološkog okruženja terminala uz sprečavanje/otkrivanje potencijalnih prijetnji i incidenata. Godine 2021. kontejnerski terminal je uspostavio višegodišnje partnerstvo sa IBM-om (oko 6,8 miliona američkih dolara) za uspostavljanje nadograđenog centra za sajber bezbjednost (*engl. Cyber Resilience Center – CRC*).



Slika 13. Informatička bezbjednost u kontejnerskim terminalima Los Angeles i Tema [34, 35]

Kontejnerski terminal Tema u Gani pokriva veliki dio nacionalnih trgovinskih aktivnosti. Prostire se na četiri miliona kvadratnih metara kopnene površine i prima u prosjeku oko 1.500 plovila godišnje. Ovako veliki terminal zahtjeva stroge mjere bezbjednosti, uključujući sajber bezbjednost i neovlašćen fizički pristup. [5] Uprava terminala je investirala u 24-časovni CCTV video-nadzor uz podršku obučenog osoblja obezbjeđenja. Od 2017. godine se primjenjuju bezbjednosne provjere prije ulaza putem ličnih dokumenata (biometrijska identifikacija kroz skeniranje prstiju) i mrežna prijava za dozvolu pristupa. Svi ovi podaci se prenose do obučenog osoblja da bi se poboljšala bezbjednost u terminalu. [15] Ogromna količina generisanih podataka zahtjeva značajan skladišni kapacitet, koji se može riješiti implementacijom računarstva u oblaku.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu dat je pregled pametnih kontejnerskih terminala i informacionih tehnologija koje se koriste u istim kako bi se postigao digitalni i održivi razvoj. Kontejnerski terminali ulazu sve više u pametnu infrastrukturu, od primjene vještačke inteligencije do optimalnog upravljanja preko potpuno automatizovanih terminala, dizalica, kapija i električnih vozila. Nove tehnologije poput „digital twins“ omogućavaju potpunu 3D digitalnu rekonstrukciju njihovih fizičkih ekvivalenata koji pomažu operaterima terminala da poboljšaju produktivnost i optimalno upravljaju terminalom. Korišćenje informacionog sistema, uključujući prikupljanje podataka, uređaje, bazu podataka, umrežavanje, komunikaciju i automatizaciju predstavljaju sastavni dio pametnog kontejnerskog terminala.

Digitalizacija omogućava značajno povećanje efikasnosti kroz dosljednu kontrolu i upravljanje, kao i scenario simulacija. Međutim, sve napredne informacione tehnologije koje se koriste u kontejnerskim terminalima ostavljaju mogućnost za sajber napade, što zahtjeva dobro obučeni tim za sajber bezbjednost opremljen najsavremenijom zaštitom softvera. Unapređenje informacionih tehnologija u kontejnerskim terminalima podrazumijeva poboljšanje raznih aktivnosti uključujući pametna plovila i kontejnere kako bi se poboljšala konkurentnost. Takođe, pojedine informacione tehnologije mogu se primijeniti u smanjenju emisije gasova staklene bašte u cilju održivosti životne sredine, što je postalo goruće pitanje posljednjih decenija.

Inteligentni kontejnerski terminal se oslanja na međusobnu povezanost svih učesnika, automatizaciju opreme i operacija kako bi se poboljšala fluidnost, pouzdanost, razmjena

informacija i donošenje odluka u realnom vremenu. Ovakve prakse povećavaju produktivnost pametnog kontejnerskog terminala i poboljšavaju njegovu energetska efikasnost.

Buduća istraživanja u vezi pametnih kontejnerskih terminala biće vezana za dizajn i razvoj aplikacija, platforme za saradnju između različitih terminala, poboljšanje operativnih sistema, saradnju sa pametnim brodovima, kao i potpunu digitalizaciju autonomnih pametnih terminala.

LITERATURA

- [1] Anwar, M., Henesey, L., & Casalicchio, E. (2019). Digitalization in container terminal logistics: A literature review. In 27th annual conference of international association of maritime economists, Athens (pp. 1-25);
- [2] Aprilianty, H., & Evander, H. (2017, November). Information Technology in Port Container Terminal: Automation Tally System Implemented in Port of Tanjung Priok. In *Global Research on Sustainable Transport (GROST 2017)* (pp. 758-766). Atlantis Press;
- [3] Bessid, S., Zouari, A., Frikha, A., & Benabdelhafid, A. (2020, November). Smart ports design features analysis: A systematic literature review. In 13ème Conference Internationale de modelisation, optimisation et simulation (Mosim 2020), 12-14 Nov 2020, AGADIR, Maroc;
- [4] Boer, C. A., & Saanen, Y. A. (2012). Improving container terminal efficiency through emulation. *Journal of Simulation*, 6(4), 267-278;
- [5] Clemente, D., Cabral, T., Rosa-Santos, P., & Taveira-Pinto, F. (2023). Blue seaports: The smart, sustainable and electrified ports of the future. *Smart Cities*, 6(3), 1560-1588;
- [6] Heikkilä, M., Saarni, J., & Saurama, A. (2022). Innovation in smart ports: Future directions of digitalization in container ports. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(12), 1925;
- [7] Heilig, L., Stahlbock, R., & Voß, S. (2020). From digitalization to data-driven decision making in container terminals. *Handbook of terminal planning*, 125-154;
- [8] Jacobsson, S., Arnäs, P. O., & Stefansson, G. (2020). Automatic information exchange between interoperable information systems: Potential improvement of access management in a seaport terminal. *Research in Transportation Business & Management*, 35, 100429;
- [9] Kassou, M., Bourekadi, S., El Imrani, O., Boulaksili, A., Aharouay, S., Ourdi, A., ... & Khouliji, S. (2021). Digital transformation in flow planning: The case of container terminals at a smart port. *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, 99(9), 1966-1976;
- [10] Kubowicz, D. (2019). Zarządzanie procesami przepływu ładunków na morskim terminalu kontenerowym z wykorzystaniem systemów informatycznych typu TOS. *Autobusy–Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 227(1-2), 487-492;
- [11] Owusu-Oware, E., Effah, J., Adam, I. O., & Amankwah-Sarfo, F. (2023). Actualizing the affordances of seaport smart container terminal system in a developing country. *Journal of Information Technology Case and Application Research*, 25(4), 339-367;
- [12] Sun, Z., Tan, K. C., Lee, L. H., & Chew, E. P. (2013). Design and evaluation of mega container terminal configurations: An integrated simulation framework. *Simulation*, 89(6), 684-692;
- [13] Tsiulin, S., Reinau, K. H., Hilmola, O. P., Goryaev, N., & Karam, A. (2020). Blockchain-based applications in shipping and port management: a literature review towards defining key conceptual frameworks. *Review of International Business and Strategy*, 30(2), 201-224;
- [14] Wang, W., Peng, Y., Xu, X., Li, X., Liu, H., Liu, S., & Yan, X. (2024). Smart container port development: recent technologies and research advances. *Intelligent Transportation Infrastructure*, 3, liad022;
- [15] Watfa, M. K., & Al Karmadi, K. (2019, May). Connected automated guided vehicles in a smart container terminal. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 533, No. 1, p. 012029). IOP Publishing;
- [16] Yang, Y., Zhong, M., Yao, H., Yu, F., Fu, X., & Postolache, O. (2018). Internet of things for smart ports: Technologies and challenges. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 21(1), 34-43;
- [17] Yau, K. L. A., Peng, S., Qadir, J., Low, Y. C., & Ling, M. H. (2020). Towards smart port infrastructures: Enhancing port activities using information and communications technology. *Ieee Access*, 8, 83387-83404;
- [18] Yeo, H. J. (2010). Competitiveness of Asian container terminals. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 26(2), 225-246;
- [19] <https://www.morethanshipping.com/yara-birkeland-the-worlds-first-electric-autonomous-cargo-ship-has-landed/> (pristupljeno 05.07.2024.);
- [20] https://containerchain.net/au/en_gb (pristupljeno 15.07.2024.);
- [21] https://www.k-n-i.de/fileadmin/user_upload/dokumente/SHD2019/02_-_SHD_-_W4_03_-_Hutchison_Ports_ECT_Rotterdam_5_9_2019_Hafen_Hinterland_Congres.pdf (pristupljeno 20.07.2024.);

-
- [22] <https://www.huawei.com/en/media-center/multimedia/photos/tianjin-smart-terminal-overall> (pristupljeno 03.08.2024.);
- [23] <https://rbs-tops.com/terminal-operating-system/optional-modules/dgps/> (pristupljeno 06.08.2024.);
- [24] <https://www.as-rfid.com/info/how-are-cargo-containers-tracked-89186201.html> (pristupljeno 08.08.2024.);
- [25] <https://www.haulio.io/blog/everything-you-need-to-know-about-container-seals/> (pristupljeno 09.08.2024.);
- [26] <https://www.xindemarinews.com/en/ports/2020/0512/20363.html> (pristupljeno 10.08.2024.);
- [27] <https://safety4sea.com/cm-how-5g-will-accelerate-shipping-digitalization/> (pristupljeno 10.08.2024.);
- [28] <https://www.porttechnology.org/news/montreal-to-accelerate-smart-port-project-with-ai-tool/> (pristupljeno 14.08.2024.);
- [29] <https://hamburg-business.com/en/news/port-become-sustainable-energy-hub-hamburg> (pristupljeno 14.08.2024.);
- [30] <https://www.porttechnology.org/news/port-of-rotterdam-joins-common-digital-language-platform/> (pristupljeno 19.08.2024.);
- [31] https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-43612-3_12 (pristupljeno 19.08.2024.);
- [32] <https://aksiyonteknologi.com/en/container-number-recognition-system/> (pristupljeno 23.08.2024.);
- [33] <https://www.railway.supply/en/camco-technologies-revolutionary-solutions-for-terminal-automation/> (pristupljeno 23.08.2024.);
- [34] <https://www.portoflosangeles.org/business/cybersecurity> (pristupljeno 24.08.2024.);
- [35] <https://www.msn.com/en-xl/africa/ghana/security-agencies-organise-kwemo-ojogban-simulation-at-tema-port/ar-BB1oHLsi?ocid=BingNewsVerp> (pristupljeno 25.08.2024.).



XVI međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2024

Banja Luka, 27 - 28. 9. 2024. godine



BIO-INSPIRISANI ALGORITMI I PRINCIPI KOLEKTIVNE INTELIGENCIJE U OPTIMIZACIJI RUTIRANJA PODATAKA NA FIZIČKOM SLOJU IOMT SISTEMA

Goran Đukanović¹, Goran Popović²

¹Panevropski univerzitet "Apeiron" Banja Luka, goran.z.djukanovic@apeiron-edu.eu

²Internacionalni univerzitet Travnik, popovic.goran@yandex.com

Abstrakt: *IoMT sistemi su jedan od najbitnih segmenata budućeg globalnog IoT koncepta koji podrazumijeva potpuno umrežavanje i razmjenu podataka vezanih za sve aspekte ljudskog življenja i djelovanja. Kao fizički sloj ovih sistema koristi se WBAN kao mreža bežičnih senzorskih čvorova postavljenih na određene dijelove ljudskog tijela sa ciljem prikupljanja podataka koji su relevantni za praćenje zdravstvenog stanja nadziranog pacijenta. Prenos podataka u mrežama ovog tipa je u mnogim stavkama specifičan u odnosu na klasične WSN mreže, pa je i prilikom rješavanja problema tipičnih za bežične senzorske mreže, kao što je rutiranje podataka, potrebno primijeniti specifična rješenja. Bio-inspirisani algoritmi bi mogli biti jedan od načina za uspješnu optimizaciju rutiranja prije svega u smislu smanjenja potrošnje energije u mreži. U ovom radu ćemo dati prikaz nekoliko aktualnih rješenja.*

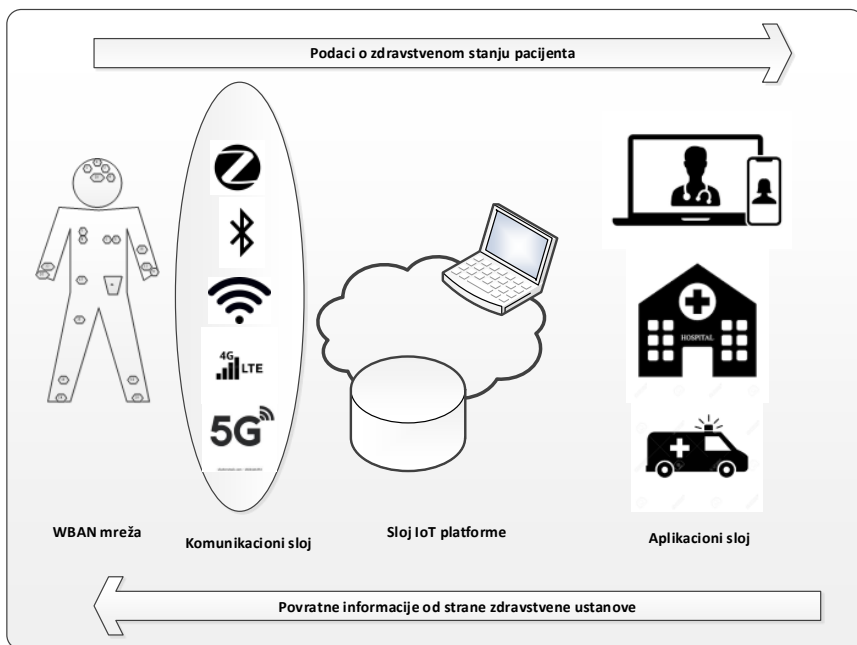
Ključne riječi: *AI, Bio-inspirisani algoritmi, IoMT, WBAN, WSN*

1. UVOD U WBAN

IoMT (Internet of Medical Things) sistemi će bez sumnje, u bliskoj budućnosti, naći značajno mjesto u globalno povezanim sistemima za razmjenu podataka [1]. Ljudsko zdravlje je najvažniji resurs čovječanstva pa mu je shodno tome potrebno ukazati dužnu pažnju koristeći savremene tehnologije za unapređenje praćenja i rješavanja problema. IoMT podrazumijeva kompleksan sistem različitih tehnologija koji vrši aktivnosti akvizicije, prenosa i analiza podataka o zdravstvenom stanju pacijenta (Slika 1.) Sistem na višim slojevima omogućava primjenu vještačke inteligencije u uspostavljanju dijagnoze i definisanja odgovarajuće terapije te djeluje i u povratnom smjeru kroz dostavu podataka pacijentu ili aktiviranje odgovarajućih akuatora. Dalji razvoj tehnologija stvorice uslove za trenutno nepojmljive mogućnosti brige o zdravlju ljudske populacije. Međutim, u ovoj fazi razvoja sistema potrebno je riješiti veliki broj elementarnih problema koji prate implementaciju sistema.

Na fizičkom sloju sistema nalazi se WBAN (Wireless Body Area Network) mreža. WBAN je sistem bežično uvezanih senzorskih čvorova koji se postavljaju na određene, karakteristične tačke ljudskog tijela sa zadatkom da vrše očitavanje različitih fizioloških atributa pacijenta u realnom vremenu [2]. Očitane podatke je potrebno na neki način, bežično prenijeti do centra gdje se vrši njihova obrada a koji se nalazi na lokaciji koja je udaljena od lokalne WBAN mreže. WBAN komunicira sa udaljenom lokacijom obično preko jednog čvora koji ima ulogu bazne stanice (sinka) te vrši akviziciju podataka od svih ostalih čvorova pripadajuće mreže. Sink nije

čvor koji ima problem sa potrošnjom energije pošto se radi o lako dostupnom uređaju kome se kao takvom može na jednostavan način izvršiti zamjena izvora napajanja ili njegovo dopunjavanje. Ovo je veoma važno pošto je to čvor koji trpi najveću potrošnju energije s obzirom da komunicira sa okruženjem prenoseći sve podatke iz mreže. Međutim ostali čvorovi se napajaju autonomno i često su implantirani ispod površine tijela pa zamjena baterija ili njihovo dopunjavanje podrazumijeva hirurški zahvat što značajno otežava čitav proces. Zbog toga je neophodno naći načina da se energija koju ovi uređaji troše tokom svog rada a pogotovo prilikom komuniciranja (pošto je tu potrošnja daleko veća u odnosu na očitavanje fenomena i obradu podataka) sa okruženjem na neki način minimizuje. Jedini način da se to uradi je primjena odgovarajućih protokola za rutiranje podataka u mreži koji za cilj imaju optimizaciju potrošnje energije i povećanje životnog vijeka mreže.



Slika 1. Arhitektura IoMT sistema

WBAN mreže su u mnogim stvarima specifične u odnosu na klasične WSN mreže:

- Čitava mreža je u stalnom pokretu, pacijent se kreće u prostoru i tako mijenja svoju poziciju u odnosu na komunikacione uređaje višeg nivoa sa kojima razmjenjuje podatke. Pored toga zbog pomjeranja tijela i udova senzorski čvorovi na tijelu pacijenta neprestano mijenjaju međusobno rastojanje i prostorni raspored. Radi se o mreži čije koordinate nisu konstantne u vremenu i prostoru pa se topologija mreže stalno mijenja.
- Broj senzora u mreži je relativno mali u odnosu na tradicionalne WSN. Senzori su različitog tipa i vrše mjerenje različitih fizičkih veličina. Brzine prenosa podataka senzora nisu obavezno jednake.

- Radi se o mrežama malog dometa, pošto se razdaljine na kojima se signali prenose mjere u cm ili nešto preko 1m, za razliku od klasičnih WSN gdje se signali prenose i na udaljenosti reda km.
- Nema garancije kvaliteta veze za implantirane senzore.

U literaturi je predložen veliki broj algoritama koji na različite načine pristupaju rješavanju ovog problema [3-5]. Algoritmi se baziraju na različitim principima a neki od njih su inspirisani oponašanjem bioloških jedinki koje svoje djelovanje baziraju na nekoj vrsti kolektivne inteligencije. U ovom radu opisaćemo nekoliko algoritama koji mogu dati značajan doprinos po ovom pitanju.

Optimizacija potrošnje energije u WSN uopšte, a tako i u WBAN je već decenijama predmet istraživanja. Svaki od čvorova prikupljene podatke prosleđuje bežično do prvog višeg hijerarhijskog nivoa, uz pomoć neke od tehnologija malog dometa bilo da je viši nivo vođa klastera, relejni čvor ili bazna stanica [6,7]. Čvorovi najviše energije troše prilikom komuniciranja sa okolinom a potrošnja je pri tome srazmjerna kvadratu putanje signala.

2. BIO-INSPIRISANI ALGORITMI

GWO (*Grey Wolf Optimisation*) – Algoritam sivog vuka

Čopor sivih vukova je ustrojen na strogom hijerarhijskom principu. Članovi čopora mogu pripadati sljedećim nivoima:

- **α nivo:** alfa jedinka (mužijak ili ženka) je vođa čopora. Donosi odluke o lovu, spavanju, buđenju itd. U toku lova odlučuje kada se treba pokrenuti, kada odmarati, kada napasti, kada odustati itd.
- **β nivo:** Održavaju alfu na vlasti i pomažu mu. Ukoliko alfa ugine, neko od beta jedinki preuzima njegovu ulogu.
- **ω nivo:** članovi najnižeg hijerarhijskog nivoa. Dužni su izvršavati naređenja svih viših slojeva.
- **δ nivo:** dominiraju nad omega članovima a slušaju naređenja sa dva viša nivoa. To su često izviđači. Brinu o bezbjednosti čopora i upozoravaju na opasnost.

Glavne faze u procesu lova su: praćenje, jurenje i približavanje plijenu, progonjenje, okruživanje i iritiranje sve dok se plijen ne zaustavi i napad usmjeren na plijen. Pretraživanje (prve dvije faze) se odvija u globalnom prostoru a eksploatacija (dio druge i treća faza) je iznalaženje optimalnog rješenja u lokalnom prostoru. Matematički model koji opisuje fazu približavanja plijenu je prikazan izrazima:

$$\vec{D} = |\vec{c} \cdot \vec{x}_p(t) - \vec{x}(t)| \quad (1)$$

$$\vec{x}(t + 1) = \vec{x}_p(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (2)$$

\vec{D} – Procjenjena udaljenost između vuka i plijena

t – trenutna iteracija

$\vec{x}_p(t)$ – vektor trenutne pozicije plijena u t-toj iteraciji

$\vec{x}(t)$ – vektor trenutne pozicije vuka u t-toj iteraciji

$\vec{x}(t + 1)$ – slijedeća pozicija vuka

| | apsolutna vrijednost rezultata

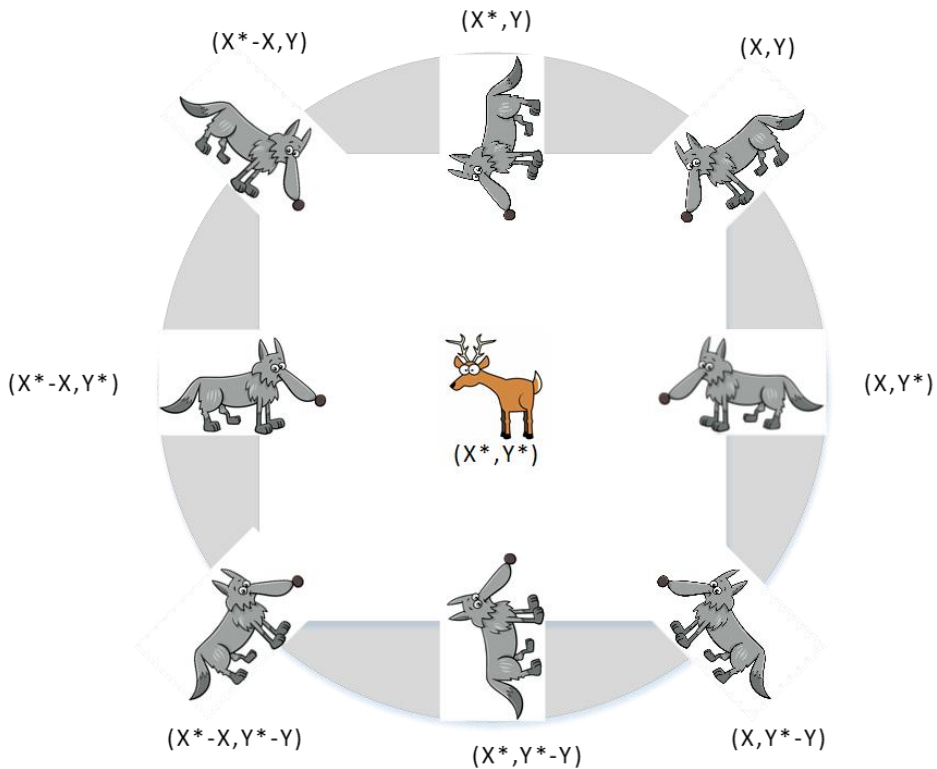
. množenje pojedinačnih elemenata vektora

Vektori \vec{A} i \vec{C} su vektori koeficijenata i računaju se pomoću izraza:

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r}_1 - \vec{a} \quad (3)$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r}_2 \quad (4)$$

Pri tome se komponente vektora \vec{a} tokom iteracija linearno smanjuju od vrijednosti 2 do 0 na taj način upravljajući kretanjem kroz algoritam. Vektori \vec{r}_1 i \vec{r}_2 su slučajni vektori sa elementima iz skupa $[0,1]$, koji pomažu u pozicioniranju sivog vuka u odnosu na plijen, simuliranjem različitih brzina kretanja vukova. Koristeći izraze (1) i (2) vukovi se relociraju u hipersferi koja okružuje plijen. Svi vukovi iz čopora tako mijenjaju sopstvenu poziciju u skladu sa promjenom pozicije plijena. Različite pozicije oko najboljeg rješenja postižu se odgovarajućim vrijednostima \vec{A} i \vec{C} .



Slika 2. Hijerarhijsko ustrojstvo čopora sivih vukova

Izrazi (1) i (2) mogu se ilustrovati dvodimenzionalnom interpretacijom problema prikazanom na Slici 2 gdje je prikazana pozicija plijena, trenutna pozicija vuka, i mogućnosti za novo pozicioniranje vuka. Sivi vuk na poziciji (X, Y) mijenja svoju poziciju u odnosu na trenutnu poziciju plijena (X^*, Y^*) . Nova pozicija se dostiže podešavanjem vrijednosti vektora \vec{A} i \vec{C} . U drugoj fazi, vukovi progone i okružuju plijen. Ovu fazu uobičajeno predvodi alfa vuk ali učestvuju povremeno i beta i delta a omega ih slijede. Tačna lokacija plijena (optimuma) nije unaprijed poznata. U matematičkoj simulaciji pretpostavljamo da alfa, beta i delta posjeduju bolja saznanje o mogućoj lokaciji plijena u odnosu na omega. Alfa vuk se uzima kao najbolji kandidat za rješenje problema. Omega vukovi podešavaju svoje pozicije u skladu sa tri najbolja rješenja koja se dobijaju za alfa, beta i delta vukove u svakoj od iteracija. Pri tome se koriste slijedeći izrazi u skladu sa situacijom prikazanom na slici:

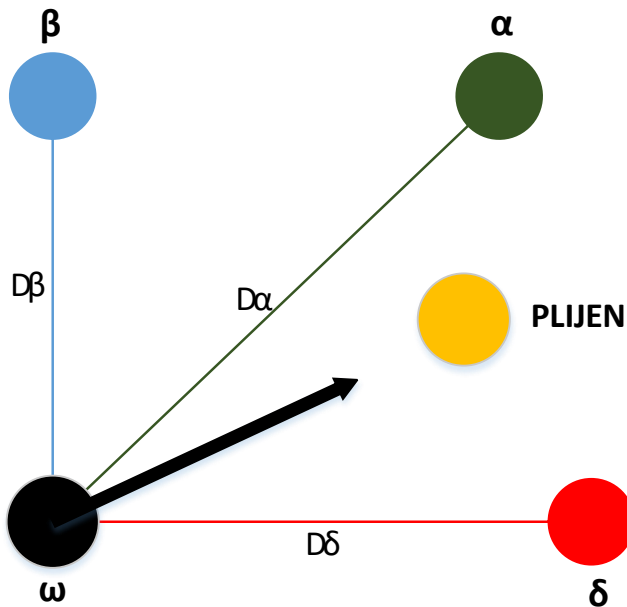
$$\vec{D}_\alpha = |\vec{C}_1 \cdot \vec{X}_\alpha(t) - \vec{X}(t)|, \vec{D}_\beta = |\vec{C}_2 \cdot \vec{X}_\beta(t) - \vec{X}(t)|, \vec{D}_\delta = |\vec{C}_3 \cdot \vec{X}_\delta(t) - \vec{X}(t)| \quad (5)$$

$$\vec{X}_1 = \vec{X}_\alpha(t) - \vec{A}_1 \cdot \vec{D}_\alpha, \quad \vec{X}_2 = \vec{X}_\beta(t) - \vec{A}_2 \cdot \vec{D}_\beta, \quad \vec{X}_3 = \vec{X}_\delta(t) - \vec{A}_3 \cdot \vec{D}_\delta \quad (6)$$

gdje su \vec{D}_α , \vec{D}_β i \vec{D}_δ vektori udaljenosti između alfa, beta i delta respektivno u odnosu na ostale vukove tj. omega. Nova pozicija omega vuka u skladu sa izrazima (5) i (6) se dobija iz:

$$\vec{X}_\omega(t+1) = \frac{\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3}{3} \quad (7)$$

Pozicioniranje u skladu sa gornjim izrazima može se predstaviti na Slici 3.



Slika 3. Pozicioniranje ω vuka u odnosu na kretanje plijena i odluke viših hijerarhijskih nivoa

Posljednja faza je napad na plijen kada se završi njegovo kretanje. Matematički model ove faze podrazumijeva linearno smanjivanje vektora \vec{a} kroz iteracije, čime se \vec{A} podešava na vrijednosti iz opsega $[-\vec{a}, \vec{a}]$. GWO algoritam će do kraja juriti plijen ako je $|\vec{A}| < 1$ a u suprotnom će tragati za drugim plijenom. Pored toga, parametar \vec{c} uzima vrijednosti iz opsega $[0,2]$. Na taj način se izbjegava stagnacija u lokalnom optimumu dodjeljivanjem slučajnih vrijednosti podešavanju pozicije. Ovo za posljedicu ima efikasno izbjegavanje lokalnih optimuma što opet dovodi do brže konvergencije algoritma.

GWO se može iskoristiti pri rutiranju podataka u WBAN mreži za određivanje vrijednosti parametara u fitness funkciji. Teži se uspostavljanju ravnoteže između nekoliko zadatih ciljeva. Bazna stanica se pri tome tretira kao plijen. Mrežni čvorovi se dijele u tri grupe: alfa čvorovi imaju najviši prioritet prilikom prenosa podataka, beta čvorovi su čvorovi koji će u narednim koracima biti kandidati za izbor u relejne čvorove ili vođe klastera, zavisno od arhitekture mreže, delta i gama čvorovi su svi preostali čvorovi u mreži. Beta, delta i gama čvorovi šalju prikupljene podatke ka alfa čvorovima. Ako su neki alfa čvorovi bliži BS od ostalih podaci se prosleđuju prema njima.

Parametri fitness funkcije su: udaljenost između čvorova, udaljenost od čvora do bazne stanice, očekivana energija koja će se potrošiti pri prenosu podataka od slijedećeg hopa do bazne stanice te preostala energija u čvoru [8]. Na osnovu vrijednosti fitness funkcije vrši se izbor slijedećeg hopa tj. izbor ooptimalnog lokalnog parcijalnog rješenja. Ovakav pristup dovodi do globalno optimalnog rutiranja. U [9] u svakom od klastera se inicijalno bira CH u svakom na slučajaj način pa se računa fitness funkcija za svaki od njih. Potom se biraju najbolji agenti α (prvi izbor) jedinke sa najvećom fitness funkcijom što predstavlja optimalno rješenje, pa dalje sa opadanjem vrijednosti β (drugi) te δ (treći) a svi ostali se tretiraju kao ω . Uz pomoć tri najbolja rješenja ostali agenti podešavaju svoje pozicije a novoizabrani položaji se kandiduju za CH u narednim iteracijama.

U [10] se pri izboru CH [14] prvo provjerava da li prethodno izabrani CH i dalje imaju zadovoljavajući nivo energije. Kada najmanje jedan od CH potroši više od 50% inicijalne energije biraju se novi. Ovdje se uvodi fitness funkcija koja je direktno povezana sa potrošnjom energije u mreži i uvodi se dodatni relejni čvor na poziciji između CH i BS koja je optimalna u smislu minimizacije potrošnje energije prilikom prenosa. Maksimizira se fitness funkcija:

$$f = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{E_R(i)}{E_C(i)} \quad (8)$$

gdje je $E_R(i)$ rezidualna energija čvora $E_C(i)$ iznos energije koju čvor potroši u jednoj rundi shodno njegovoj ulozi u mreži. Uvodi se i važan uslov:

$$E_r(CH_j) > \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_r(i), \quad 0 < j \leq m \quad (9)$$

koji garantuje da će preostala energija CH biti veća od prosječne energije svih čvorova u mreži.

PSO (*Particle Swarm Optimization*) – Optimizacija roja čestica

PSO je bio-inspirisani metaheuristički algoritam zasnovan na oponašanju kolektivne inteligencije roja čestica. Svaka čestica je moguće rješenje problema prilikom potrage jedinke za hranom. Nakon slučajne inicijalizacije skupa mogućih rješenja vrše se iterativne aktivnosti na dostizanju ciljanog optimuma. Algoritam je zasnovan na simulaciji ponašanja riba ili ptica ili drugih vrsta prirodnih agenata u grupi.

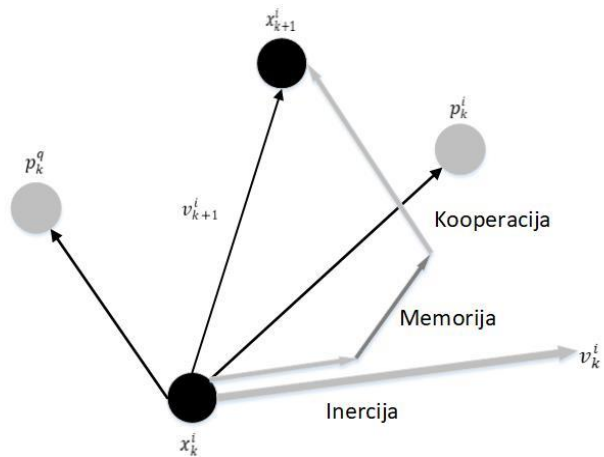
Uzmimo da u roju ili jatu imamo p jedinki npr. ptica. Svaka od jedinki predstavlja moguću tačku tj. rješenje problema u prostoru S . Nova pozicija x^i jedinke i se određuje prema izrazu [11]:

$$x_{k+1}^i = x_k^i + v_{k+1}^i \quad (10)$$

GDJE JE k VREMENSKI INKREMENT, x_k^i JE TRENUTNA POZICIJA A v^i JE BRZINA KRETANJA I-TE JEDINKE KOJA SE RAČUNA PREMA:

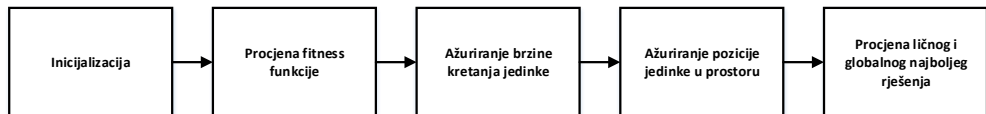
$$v_{k+1}^i = w \times v_k^i + c_1 \times r_1 \times (p_k^i - x_k^i) + c_2 \times r_2 \times (p_k^g - x_k^i) \quad (11)$$

pri čemu je p_k^i najbolje rješenje koje je jedinka i pronašla do trenutka k dok je p_k^g globalno najbolja pozicija tj. rješenje za sve jedinke u jatu u vremenu k a w je mjera inercije koja se određuje na različite načine. Koeficijenti r_1 i r_2 su slučajni brojevi između 0 i 1 a c_1 i c_2 su nenegativni parametri kojima se skalira kognitivno i socijalno ponašanje respektivno. U originalnom rješenju [11] uzima se da su $c_1 = c_2 = 2$ a pravilnim odabirom se osigurava da jedinke dostignu cilj za pola zadanog vremena. Svaka jedinka se kreće u prosturu u skladu sa dinamički promjenljivim izrazom (11). Na Slici 4 je predstavljeno ažuriranje brzine i pozicije jedinke u 2-dimenzionalnom prostoru. Inercija, memorija (kognitivnost) i kooperacija (socijalno ponašanje) su tri faktora koja u najvećoj mjeri utiču na brzinu i smijer kretanja jedinke. Inercija se simulira preko w komponente, kognitivnost se oslanja na memoriju i omogućava jedinki da pronađe najbolju tačku (rješenje) unutar pretraživanog prostora od svih koja su ikad posećena dok se kooperacija oslanja na informacije dobijene od drugih jedinki o najboljim pozicijama koje su one posjetile.



Slika 4. Ažuriranje brzine i pozicije jedinke u 2-dimenzionalnom prostoru

Svaka jedinka ažurira svoje stanje po inerciji a zatim ga mijenja u skladu sa najboljim rješenjem koje je sama izračunala na osnovu kognitivnog ponašanja dok se konačna pozicija dobija uzimanjem u obzir globalnog rješenja tj. kooperacijom sa svim jedinkama u jatu. Optimalno rješenje je dostignuto kada algoritam dostigne svoj faktor konvergencije (Slika 5.).



Slika 5. Procedura PSO algoritma

Svaka čestica u PSO algoritmu predstavlja moguću putanju prenosa podataka od pojedinačnih čvorova do odredišta, obično bazne stanice u mreži. Prostor rješenja se definiše kao skup svih mogućih putanja između pojedinačnog senzora i centralnog čvorišta. Čestice se kreću kroz prostor rješenja, a njihove pozicije i brzine se ažuriraju koristeći formule (10) i (11). Ovo omogućava česticama da pretražuju prostor rešenja i traže optimalne putanje. Performanse svake čestice se ocjenjuju na osnovu funkcije cilja tj. minimalne energije potrebne za prenos poruke do slijedeće destinacije koja se definiše radio modelom prvog reda. Najbolje putanje koje minimiziraju ukupnu potrošnju energije se identifikuju kao optimalna rešenja.

PSO algoritam je moguće kombinovati sa LEACH algoritmom [12]. Izbor CH u ovom slučaju je baziran na primjeni fitness funkcije koja vodi računa o dva važna aspekta WBAN mreža:

1. Potrošnja energije prilikom prenosa podataka od pojedinačnog čvora do CH:

$$E_1(j) = \sum_{k=1}^K \sum_{\forall n, k_j \in C_k} \left\{ \frac{E_{k_j} - f(k_j, C_k)}{E_{max} - E_{min}} \right\} \times k_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

Gdje su:

$$f(k_j, C_k) = \begin{cases} s^2(k_j, C_k) & \text{ako je } s(k_j, C_k) \leq d_0 \\ s^4(k_j, C_k) & \text{ako je } s(k_j, C_k) > d_0 \end{cases} \quad (13)$$

$$s(C_k, k_j) = \min(k_j, C_k) \quad \forall k = 1, 2, \dots, K \quad (14)$$

- Potrošnja energije u CH prilikom agregacije podataka i njihovog prosleđivanja do bazne stanice:

$$E_2(j) = \sum_{k=1}^K \left\{ \frac{E_{C_k} - g(C_k, BS)}{E_{max} - E_{min}} \right\} \times C_k \quad (15)$$

Gdje je:

$$g(C_k, BS) = \begin{cases} d^2(C_k, BS) & \text{ako je } d(C_k, BS) \leq d_0 \\ d^4(C_k, BS) & \text{ako je } d(C_k, BS) > d_0 \end{cases} \quad (16)$$

Ukupna energije koja se potroši prilikom prenosa M bita podataka od senzorskog čvora do bazne stanice iznosi:

$$E(j) = E_1(j) + E_2(j) \quad (17)$$

Kao način izračunavanja težinskog koeficijenta u izrazu (11) preporučuje se:

$$W = W_{initial} - \frac{Max.iteracije - trenutna.iteracija}{Ukupan.broj.iteracija} \quad (18)$$

PSO se može iskoristiti i za druge probleme tipične za WBAN osim klasterizacije i izbora relejnog čvora [13-15].

3. ZAKLJUČAK

WBAN mreže spadaju među najperspektivnije implementacije WSN okruženja. Zbog svoje specifičnosti u odnosu na klasične WSN potrebno je primjeniti i posebne algoritme za rješavanje uobičajenih problema koji su standardno vezani za potrošnju energije u mreži. Bioinspirisani algoritmi ovdje mogu biti od izuzetne koristi. Autori su ranije istraživali mogućnosti primjene nekih od popularnih algoritama kao što su ACO i ABC [16]. U ovom radu smo nagovijestili prednosti algoritama GWO i PSO.

REFERENCE

- [1] S. Balaji, K. Nathani, R. Santhakumar, Iot technology, applications and challenges: A contemporary survey, *Wireless Personal Communications* 108 (1) (2019) 363–388.
- [2] Cao H, Leung V, Chow C, Chan H. Enabling technologies for wireless body area networks: a survey and outlook. *IEEE Commun Mag.* 2009;47(12):84-93.
- [3] Qu Y, Zheng G, Ma H, Wang X, Ji B, Wu H. A Survey of Routing Protocols in WBAN for Healthcare Applications. *Sensors.* 2019; 19(7):1638. <https://doi.org/10.3390/s19071638>
- [4] Rady, A.; El-Rabaie, E.S.M.; Shokair, M.; Abdel-Salam, N. Comprehensive survey of routing protocols for Mobile Wireless Sensor Networks. *Int. J. Commun. Syst.* **2021**, *34*, e4942.
- [5] Kurian, A.; Divya, R. A survey on energy efficient routing protocols in wireless body area networks (WBAN). In *Proceedings of the 2017 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS), Coimbatore, India, 17–18 March 2017*; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2007; pp. 1–6.
- [6] Goran Popović, Goran Djukanovic, Cluster formation techniques in hierarchial routing protocols for Wireless Sensor Networks, *Journal of Information Technology and Applications JITA*, June 2016., 1:35-41, DOI: 10.7251/JIT16005P
- [7] G. Popović, Linearno programiranje kao metod optimizacije potrošnje energije u bežičnim senzorskim mrežama kratkog dometa, *Proceedings of IUT, Godina VIII, Broj: 16, Travnik, Maj 2023.*
- [8] Goran Popović, Goran Đukanović, Unapređenje modela vještačke inteligencije optimizaciju bežičnih senzorskih mreža primjenom algoritma sivog vuka, XI međunarodni naučni skup, Čovječanstvo pred izazovom vještačke inteligencije, Brčko, Maj 2023.
- [9] K. Sekaran et al, An energy-efficient cluster head selection in wireless sensor network using grey wolf optimization algorithm, *TELEKOMNIKA Telecommunication, Computing, Electronics and Control* Vol. 18, No. 6, December 2020, pp. 2822~2833
- [10] M.S.H. Daneshvar, A.P.A. Mohajer, M.S. Mazinani, Energy efficient routing in WSN: A centralized cluster-based approach via grey wolf optimizer, *IEEE Access*, vol. 7, pp. 170019-170031, 2019.
- [11] Kennedy, J., & Eberhart, R. C. (1995). Particle swarm optimization. In *Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Neural Networks* (Vol. 4, pp. 1942–1948). IEEE Press
- [12] Amita Yadav, Suresh Kumar, Singh Vijendra, *Network Life Time Analysis of WSNs Using Particle Swarm Optimization*, *Procedia Computer Science*, Volume 132, 2018, Pages 805-815
- [13] Y. Shi and R. Eberhart, "A modified particle swarm optimizer," in *Proc. IEEE Int. Conf. Evol. Comput.*, May 1998, pp. 69–73.
- [14] C.-Y. Lin, Y.-Y. Chang, K.-C. Ding, and C.-T. King, "Overcoming body obstruction for robust data communication in wireless body sensor networks by placing relay nodes," in *Proc. IEEE Sensors Conf.*, Oct. 2011, pp. 904–907.
- [15] V. Kumar and B. Gupta, "Swastika slot UWB antenna for body-worn application in WBAN," in *Proc. 8th Int. Symp. Med. Inf. Commun. Technol. (ISMICT)*, Apr. 2014, pp. 1–5.
- [16] Goran Đukanović, Goran Popović, Poređenje efikasnosti dva algoritma za očuvanje životnog vijeka WBAN mreže inspirisana ponašanjem jedinki dvije vrste iz reda hymenoptera, 13th International Scientific Congress – ITeO (Informational Technology for e-Education) Banja Luka, September 2021.



XVI međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2024

Banja Luka, 27 - 28. 9. 2024. godine



LORAWAN MREŽA

Daniel Meničanin

Panevropski univerzitet APEIRON, Banja Luka, daniel.menicinin1@apeiron-edu.eu

Nikola Račić

Panevropski univerzitet APEIRON, Banja Luka, nikola.racic@apeiron-edu.eu

Dražen Marinković

Panevropski univerzitet APEIRON, Banja Luka, drazen.m.marinkovic@apeiron-edu.eu

Abstrakt: Ovaj rad istražuje dizajn, implementaciju i testiranje LoRa sistema namijenjenog prikupljanju i prenosu podataka u Internet of Things (IoT) aplikacijama. Ključni elementi sistema obuhvataju RA-02 LoRa modul, ESP32 mikrokontroler, litijumske baterije i različite antene. Rad se fokusira na razvoj softverskih rešenja za pouzdanu dvosmjernu komunikaciju i efikasno upravljanje podacima. Posebna pažnja posvećena je mehanizmima za prenos podataka bez gubitaka, baferovanje, kao i optimizaciji potrošnje energije koristeći deep sleep režim rada, što omogućava dugotrajno funkcionisanje sistema.

Ključne riječi: LoRa, ESP32, CSS, node

1. UVOD

Mrežno računarstvo se nametnulo kao jedan od ključnih aspekata današnjih računarskih sistema i tehnologija koje utiču na naš svakodnevni život. Ova oblast računarstva se bavi projektovanjem, implementacijom i manipulacijom mrežnim infrastrukturnim resursima koji omogućavaju prijenos, odnosno razmjenu podataka između različitih uređaja i računarskih sistema. Kako se u današnje vrijeme *Internet of Things* (IoT) veoma brzo razvija, raste potreba za infrastrukturom koja ne samo da podržava komunikaciju, već i efikasno upravlja velikim količinama podataka koji se kreiraju u realnom vremenu.

Jedna od značajnijih inovacija u ovoj oblasti su *Low-power WAN (LPWAN)*. LPWAN je tehnologija bežične mreže širokog područja koja povezuje uređaje sa malim propusnim opsegom, napajane baterijama sa niskim brzinama prijenosa na velikim udaljenostima. *LoRaWAN* (Long Range Wide Area Network) tehnologija, koja je posebno dizajnirana za aplikacije koje zahtijevaju velik domet i nisku potrošnju energije. *LoRaWAN* se ističe kao rješenje za IoT aplikacije koje se koriste u pametnim gradovima, poljoprivredi i mnogim drugim domenima gdje je energetska efikasna i dugotrajna komunikacija između uređaja od ključnog značaja. Ova tehnologija omogućava prenos malih paketa podataka na velikim udaljenostima koristeći minimalnu količinu energije, što je čini idealnim rješenjem za uređaje koji se nalaze na teško dostupnim mjestima ili koji moraju raditi dugo vremena sa ograničenim izvorima električne energije.

Veliki domet i niska potrošnja električne energije čine *LoRa* tehnologiju kandidatom za pametne senzore u civilnoj infrastrukturi (praćenje zdravlja, pametno mjerenje, praćenje okoline itd.), kao i u industrijskim primjenama [1] naročito u sklopu *Software Defined Radio* (SDR) okruženja.

LoRaWAN mreže funkcionišu kroz tri osnovne komponente: *node*, *gateway* i aplikacijski server. *Node* je uređaj koji prikuplja podatke iz okruženja pomoću senzora i šalje ih preko *LoRaWAN* mreže. *Gateway* služi kao most između *node-a* i servera, omogućavajući prenos podataka sa više *node-ova* (čvorova) ka serveru. Na kraju, server skladišti i obrađuje podatke prosljeđene od *gateway-a*. *LoRa gateway* može da primi poruke od hiljada čvorova, stoga može da pokrije veliko geografsko područje. [3] Ovaj model omogućava izgradnju mreža koje su skalabilne, pouzdane i energetske efikasne.

2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE LORA TEHNOLOGIJE

LoRa (Long Range) tehnologija ističe se kao napredan radio komunikacijski protokol koji omogućava implementaciju niskopropusnih bežičnih mreža. Razvijena od strane američke kompanije *Semtech*, *LoRa* koristi specifičan sistem radiofrekvencije poznat kao *LoRa* modulacija, čime se omogućava komunikacija na širokom frekvencijskom opsegu, što je pogodno za mreže koje zahtijevaju nisku potrošnju energije i veliki domet komunikacije.

Jedan od osnovnih principa *LoRa* tehnologije je *spread spectrum* modulacija, tehnika proširenog spektra, koja se zasniva na *Chirp Spread Spectrum* (CSS) tehnici. *CSS* modulacija omogućava *LoRa* uređajima da prenose podatke preko širokog frekvencijskog opsega, što poboljšava otpornost na smetnje i omogućava dug domet komunikacije. *Chirp* signali, čija frekvencija raste ili opada linearno tokom vremena, omogućavaju širenje signala preko velikog frekvencijskog opsega, povećavajući otpornost na šum i interferenciju.

Spreading Factor (SF) je važan parametar koji direktno utiče na performanse prenosa signala. On definiše koliko se podaci šire u frekvencijskom opsegu, utičući na otpornost na šum, brzinu prenosa podataka i domet komunikacije. Premodulacija, proces pripreme signala za modulaciju, takođe igra ključnu ulogu, omogućavajući visoku otpornost na šum i eventualne smetnje.

Jedna od najvažnijih karakteristika *LoRa* tehnologije je veliki domet komunikacije. Komunikacija može da se postigne na udaljenostima koje prelaze nekoliko kilometara u urbanim sredinama, dok u ruralnim područjima domet može dostići i preko 15 kilometara. Energetska efikasnost je još jedna od značajnih prednosti, omogućavajući dugoročno funkcionisanje sa malim izvorima napajanja, kao što su litijumske baterije ili solarni paneli.

LoRa (Long Range) tehnologija je bežična komunikaciona tehnologija koja omogućava dug domet prenosa podataka uz minimalnu potrošnju energije. *LoRa* koristi niske frekvencijske opsege, omogućavajući pouzdanu komunikaciju u urbanim i ruralnim sredinama. Ova tehnologija je postala ključna komponenta *Internet of Things* (IoT), jer omogućava povezivanje velikog broja uređaja na velikim udaljenostima.

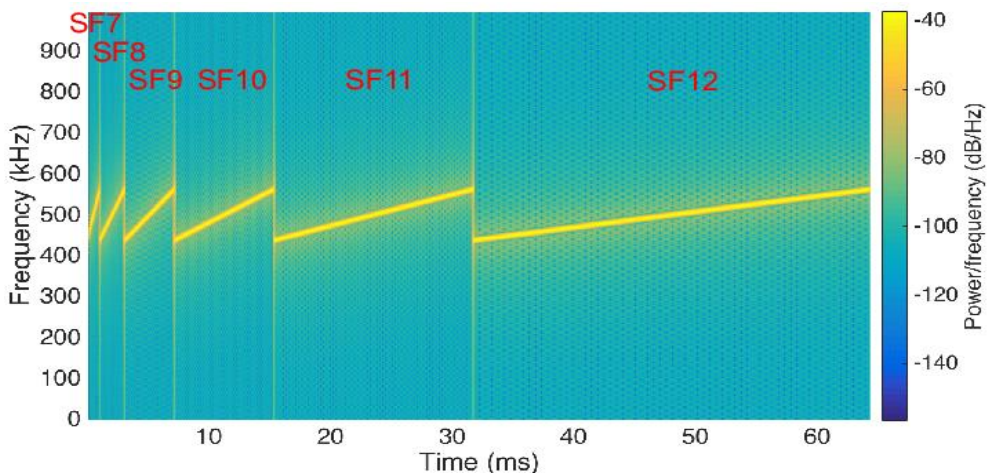
Ova tehnologija se obično koristi u okviru *LoRaWAN* (Long Range Wide Area Network) protokola, koji omogućava mrežno povezivanje i upravljanje velikim brojem *LoRa* uređaja. *LoRaWAN* protokol definiše arhitekturu mreže, uključujući *gateway* uređaje, centralne servere i krajnje uređaje, odnosno čvorove. Glavna prednost *LoRaWAN* mreže je njena sposobnost da obezbijedi dug domet komunikacije uz nisku potrošnju energije, što je idealno za *IoT* aplikacije.

3. FUNKCIONISANJE LORA SIGNALA ISPOD NIVOA ŠUMA

Jedna od ključnih karakteristika *LoRa* tehnologije je sposobnost da komunicira ispod nivoa šuma. To se postiže korišćenjem tehnike modulacije poznate kao *Chirp Spread Spectrum* (CSS), koja omogućava otpornost na interferenciju i pouzdan prenos podataka na velikim udaljenostima. CSS modulacija širi signal preko širokog frekvencijskog opsega, omogućavajući detekciju signala čak i kada je nivo šuma viši od signala. Ova karakteristika čini *LoRa* sisteme korisnim u oblastima sa visokim nivoima radiofrekventnih smetnji.

CSS je tehnika modulacije koja koristi linearnu promjenu frekvencije signala (*chirp*) tokom vremena. Ova metoda obezbjeđuje otpornost na Doplerov efekat i omogućava visoku pouzdanost komunikacije. CSS koristi *spreading* faktore (SF) za kontrolu odnosa između brzine prenosa podataka i otpornosti na šum. Viši *spreading* faktor pruža veću otpornost na šum i omogućava veći domet, ali smanjuje brzinu prenosa podataka. Sa druge strane, niži *spreading* faktor omogućava veću brzinu prenosa podataka uz manju otpornost na šum.

Spreading faktor (SF) predstavlja broj *chirp*-ova korišćenih za prenos jednog bita podataka. SF se obično kreće od 7 do 12, pri čemu veća vrijednost omogućava bolju detekciju signala na račun veće latencije i manje brzine prenosa. *Spreading* faktor 12, na primjer, omogućava najveći domet, ali i najnižu brzinu prenosa podataka, dok *spreading* faktor 7 omogućava najbrži prenos podataka uz manji domet, kao što se može vidjeti na slici ispod (slika 1).



Slika 1: *Spreading* faktori, SF 7 do SF 12

4. KOMPONENTE LORA SISTEMA

Gateway uređaji su ključni elementi *LoRa* mreža, služeći kao most između krajnjih uređaja, odnosno čvorova (*node-ova*) i centralnog servera. Oni prikupljaju podatke sa različitih senzora i prosljeđuju ih na centralni server putem internet veze. Shodno tome, *gateway*-i su samo dvosmjerni releji ili protokolski konvertori, dok je mrežni server odgovoran za dekodiranje paketa koje šalju uređaji. [3] Omnidirekzione antene su idealne za *gateway*-e, jer omogućavaju prijem signala od čvorova koji se nalaze u različitim pravcima. Ovakve antene emituju i primaju

signale u svim pravcima, što omogućava pokrivanje velikih područja iz jednog središnjeg, tačkastog izvora.

Node-ovi, ili krajnji uređaji, su senzori koji komuniciraju sa *gateway*-ima putem *LoRaWAN* protokola. Oni prikupljaju podatke iz okruženja, kao što su temperatura, vlaga, nivo vode i šalju te podatke na *gateway*. *Node*-ovi su dizajnirani da budu energetske efikasni, omogućavajući dugotrajnu upotrebu bez potrebe za čestim punjenjem ili zamjenom baterija. Antene igraju ključnu ulogu u performansama *LoRa* mreže. Kvalitet i pozicija antena direktno utiču na domet i pouzdanost signala. Uobičajene antene koje se koriste uključuju omnidirekzione antene za *gateway* uređaje, te usmjerene *YAGI* antene za *node*-ove. Centralni server upravlja cjelokupnom *LoRa* mrežom, pružajući funkcije skladištenja podataka, upravljanja podacima, te kontrolu mrežnog saobraćaja.

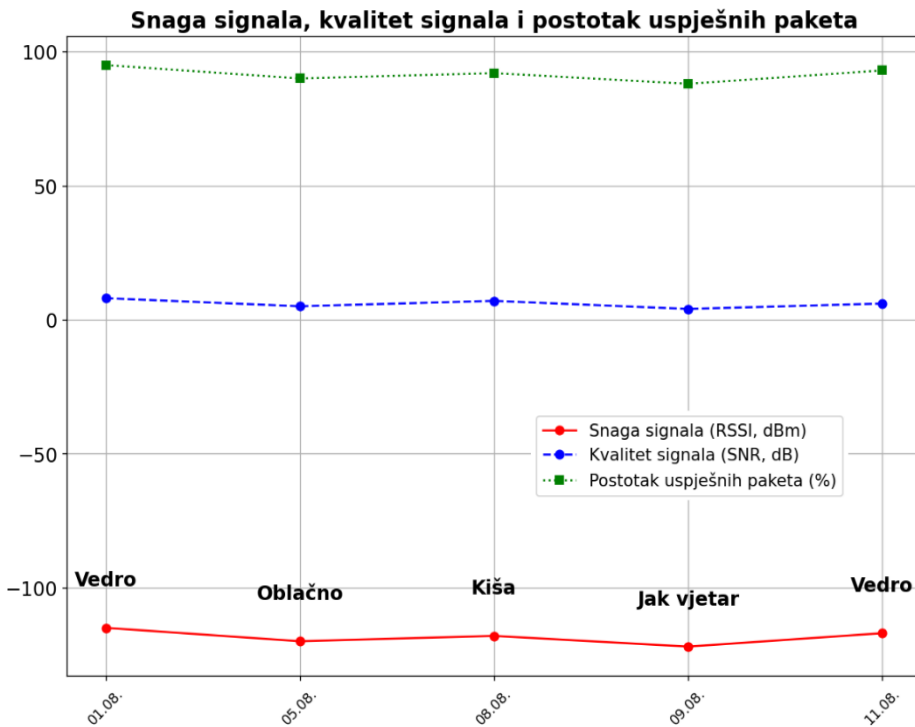
Struktura tipičnog *LoRa* sistema sastoji se od krajnjih uređaja, odnosno *node*-ova, koji prikupljaju podatke i šalju ih putem bežične veze do *gateway* uređaja. *Gateway*-i zatim prosljeđuju podatke na centralni server putem interneta. Centralni server obrađuje podatke i omogućava njihovo skladištenje, prikaz i analizu. Ovakva struktura omogućava skalabilnost i fleksibilnost sistema, prilagođavajući se različitim potrebama *IoT* aplikacija.

5. IMPLEMENTACIJA SISTEMA

Proces implementacije *LoRa* sistema počinje pažljivim odabirom komponenti koje zadovoljavaju specifične zahtjeve projekta. Osnovni dijelovi sistema uključuju *gateway*, čvorove, *LoRa* module, antene i baterije, a svaki od njih je pažljivo biran kako bi se postigle željene performanse.

U okviru istraživanja *LoRa* komunikacionog sistema, u avgustu 2024. godine sprovedeno je testiranje komunikacije na udaljenosti od 20 kilometara između dvije ključne lokacije: Crnog vrha na planini Grmeč (*node*) i Sanskog Mosta (*gateway*). Navedeni eksperiment pružio je detaljan uvid u performanse *LoRa* sistema u uslovima komunikacije na velikim udaljenostima. Analizom rezultata ispitivanja efikasnosti signala, kvaliteta komunikacije i stabilnosti prenosa podataka na ovoj udaljenosti, dobijeni su rezultati koji doprinose razumijevanju kapaciteta i pouzdanosti *LoRa* tehnologije u različitim okruženjima.

Na grafikonu ispod (slika 2) prikazani su podaci o snazi signala, kvalitetu signala, kao i procentu uspješnih paketa. Vremenski uslovi su označeni pored tačaka na grafikonu kako bi se prikazale promjene u performansama sistema u različitim uslovima. Grafikon je izrađen korišćenjem *Python* biblioteka *pandas* i *matplotlib* koje se često koriste za analizu podataka i vizuelizaciju.



Slika 2: Testiranje LoRa komunikacije

Za gateway je izabran LoRa modul RA-02 zbog njegove pouzdanosti i kompatibilnosti sa LoRaWAN protokolom. Modul karakterišu dugačak domet i fleksibilnost konfigurisanja različitih *spreading* faktora. Gateway se napaja sa četiri litijumske baterije koje pružaju stabilan napon od 8 V, omogućavajući dugotrajan rad u režimu niske potrošnje energije. Baterije su podržane naprednim sistemom za upravljanje baterijama (Battery Management System), koji štiti od prekomjernog punjenja ili pražnjenja. Za regulaciju napona korišćen je *step-down* konverter, koji pretvara ulazni napon od 8 V na 3,3 V potrebnih za rad LoRa modula. Ovaj konverter je korišćen zbog efikasnosti u pretvaranju napona uz minimalne energetske gubitke, ključne za stabilan rad sistema.

Korišćenje RA-02 modula koji radi na frekvenciji od 433 MHz igra ključnu ulogu u performansama sistema. Ovaj modul pruža balans između dometa, potrošnje energije i otpornosti na smetnje, što ga čini dobrim izborom za aplikacije koje zahtevaju pouzdanu komunikaciju na velikim udaljenostima.

Jedan od mehanizama koji obezbeđuje integritet prenosa podataka u ovom modulu je *Forward Error Correction* (FEC). U ovom slučaju, koristi se implementacija koja je već uključena u korišćenu biblioteku za RA-02 modul. FEC se koristi za poboljšanje otpornosti sistema na greške tokom prenosa podataka. Koristi se i *Coding Rate* (CR), segment FEC mehanizma koji omogućava modulu da unaprijed doda podatke, odnosno redundantne bitove koji služe za ispravljanje eventualnih grešaka koje se mogu javiti tokom prenosa.

Na nivou programiranja, podaci se prvo čuvaju u baferu, a zatim se provjeravaju prije nego što budu poslani. Ako podaci ne stignu do *gateway*-a, ponovo se šalju. Ovaj proces se zasniva na verifikaciji specifičnih karakteristika stringa, uključujući provjeru da li počinje sa zadatim karakterima i završava sa "\n". Ovom dodatnom provjerom postignuta ispravnost podataka prije nego što su prihvaćeni i obrađeni.

Međutim, *Automatic Repeat reQuest* (ARQ), tehnika koja automatski traži ponovno slanje paketa u slučaju detekcije greške, nije podržana u korišćenoj biblioteci za RA-02 modul. Ovaj nedostatak se nadoknađuje implementacijom logike za provjeru i ponovno slanje podataka kada se otkrije greška.

Ove karakteristike omogućavaju sistemu da zadrži visoku pouzdanost prenosa podataka, čak i u uslovima gdje postoji visok nivo smetnji ili gdje se komunikacija odvija na velikim udaljenostima. Kombinacija pažljivo odabranih komponenti i optimizovane logike za provjeru integriteta podataka pruža stabilan i efikasan sistem koji može pouzdano funkcionisati u zahtjevnim *IoT* aplikacijama.

Dizajn čvorova podrazumijevao je izbor mikroprocesora i senzora za prikupljanje i prenos podataka. ESP32 mikrokontroler korišćen je zbog podrške za višenitno programiranje i niske potrošnje energije, što omogućava rad u *deep sleep* režimu uz istovremeno upravljanje više senzora i komunikaciju sa *gateway*-em.

Sa druge strane, omnidirekzione antene su korišćene za *gateway* kako bi se omogućio prijem signala iz svih pravaca, dok su *YAGI* antene korišćene za čvorove radi usmjerenog prenosa signala ka *gateway*-u, čime se postiže bolja pokrivenost i veći domet komunikacije.

Razvoj softvera za ESP32 mikrokontroler obuhvatao je implementaciju ključnih funkcionalnosti. Razvijena je biblioteka za *LoRa* modul RA-02, omogućavajući dvosmjernu komunikaciju između čvorova i *gateway*-a. Biblioteka uključuje funkcije za upravljanje baferom podataka, koji skladišti podatke dok ne budu potvrđeni od strane prijemnika. Podaci se šalju u kratkim paketima koji omogućavaju provjeru parnosti, a ukoliko nakon deset poslatih paketa nema grešaka, prvi paket se briše.

Takođe, implementiran je HTTP server pomoću *Node.js* tehnologije, koji omogućava prikaz primljenih podataka na IP adresi dodijeljenoj od strane *WiFi* rutera. Ovaj server omogućava korisnicima pristup podacima u realnom vremenu putem *web* interfejsa, olakšavajući praćenje i analizu podataka. Server istovremeno omogućava dijagnostiku i otklanjanje grešaka putem serijske komunikacije, što je postignuto povezivanjem mobilnog uređaja putem *C-type* kabla.

Razvijeni su i programski moduli za upravljanje energijom i senzorskim podacima. Ovi moduli omogućavaju upravljanje režimima rada čvorova, poput periodičnog buđenja radi prikupljanja podataka i prelaska u *deep sleep* režim radi uštede energije. Istovremeno, implementirani su moduli za prikupljanje i obradu podataka sa senzora za mjerenje temperature, vlažnosti, svjetlosti i prisustva štetnih gasova ili čestica.

Jedna od ključnih prednosti sistema je njegova energetska efikasnost. Zahvaljujući korišćenju litijumskih baterija i naprednim tehnikama za upravljanje energijom, kao što su *deep sleep* režim i *Battery Management System* (BMS), sistem može raditi duže vrijeme bez potrebe za čestim punjenjem ili zamjenom baterija. Ovaj aspekt je posebno značajan u situacijama gdje uređaji često moraju raditi u udaljenim ili teško dostupnim oblastima, posebno ukoliko zamjena baterija može biti nepraktična ili skupa.

Korišćenje *LoRa* tehnologije omogućava značajno povećanje dometa komunikacije u poređenju sa tradicionalnim bežičnim sistemima. Pravilnim izborom antena i frekvencijskog spektra, kao što su omnidirekzione antene za *gateway* i *YAGI* antene za čvorove, moguće je postići stabilnu komunikaciju na velikim udaljenostima. Ovo je posebno korisno za primjenu u poljoprivredi, praćenju životne sredine i pametnim gradovima, gdje uređaji često komuniciraju na udaljenostima od nekoliko kilometara.

Istovremeno, implementacija sistema može biti ekonomski isplativa opcija za mnoge *IoT* aplikacije. Zahvaljujući niskoj potrošnji energije i dugom vijeku trajanja baterija, smanjuju se operativni troškovi održavanja sistema. Pored toga, korišćenje otvorenih standarda i kompatibilnost sa širokim spektrom uređaja i senzora omogućava bržu i jeftiniju integraciju novih rješenja u postojeće sisteme.

6. TESTIRANJE SISTEMA

Ključni aspekt implementacije bilo je testiranje sistema kako bi se potvrdila funkcionalnost i pouzdanost. Funkcionalno testiranje uključivalo je provjeru da li senzori pravilno mjere parametre iz okruženja i da li podaci iz čvorova ispravno stižu do *gateway*-a, a zatim do servera. Ovaj dio testiranja obuhvatao je simulaciju različitih uslova, kao što su promjene temperature i vlažnosti, kako bi se provjerilo da li senzori i sistem u cjelini adekvatno reaguju na navedene promjene.

Testiranje performansi bilo je usmjereno na mjerenje dometa signala i efikasnosti prenosa podataka između čvorova i *gateway*-a. Ispitivanja su uključivala varijacije u visini antena, udaljenosti između čvorova i *gateway*-a, kao i uticaj različitih vremenskih uslova na kvalitet signala. Pored toga, ispitana je efikasnost baferovanja podataka i provjera parnosti kako bi se potvrdilo da sistem može ispravno funkcionisati pod visokim opterećenjima. Testiranje otpornosti na vremenske uslove uključivalo je ispitivanje da li kućište *gateway*-a pruža adekvatnu zaštitu od kiše, prašine i drugih spoljašnjih faktora.

Ispitivanje rada sistema u različitim vremenskim uslovima pokazalo je da *LoRa* tehnologija može efikasno raditi i u teškim okruženjima. Kućište *gateway*-a pruža adekvatnu zaštitu od spoljašnjih uticaja, što omogućava pouzdan rad sistema čak i u nepovoljnim vremenskim uslovima. *LoRa* signali su se pokazali otpornim na šum, omogućavajući pouzdanu komunikaciju čak i u uslovima sa visokom interferencijom. Kroz testiranje na različitim udaljenostima, sistem je uspješno prenosio podatke na udaljenostima do 20 kilometara. Veliki domet omogućava široku pokrivenost sa minimalnim brojem *gateway*-a, što značajno smanjuje troškove infrastrukture.

7. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljen je proces implementacije i testiranja *LoRa* sistema za prikupljanje i prenos podataka sa udaljenih senzorskih čvorova ka centralnom *gateway*-u. Kroz pažljiv izbor hardverskih komponenti, uključujući RA-02 *LoRa* modul, ESP32 mikrokontroler, litijumske baterije i antene, implementiran je sistem koji nudi pouzdanost i efikasnost.

Testiranja su pokazala da sistem funkcioniše pouzdano u različitim vremenskim uslovima, sa visokim nivoom otpornosti na gubitak podataka zahvaljujući naprednom mehanizmu za čuvanje neuspješno poslatih podataka u baferu, sve dok se ne stvore uslovi da se svi podaci iz bafera ne pošalju. Optimizacija potrošnje energije kroz *deep sleep* režim rada i korišćenje

Battery Management System-a omogućila je rad sistema bez potrebe za čestim zamjenama i punjenjem baterija.

YAGI antena je odabrana za čvorove zbog svoje sposobnosti da usmjeri signal u jednom pravcu, čime se poboljšava domet i kvalitet signala. Ova antena je idealna za situacije gdje je potrebno usmjeriti signal prema tačno određenoj lokaciji, kao što je komunikacija između udaljenih čvorova i centralnog *gateway*-a.

U poređenju sa drugim antenama kao što su *patch* i *dipole* antene, *YAGI* antena pruža bolju usmjerenost i povećava domet signala, što je ključno za projekte sa udaljenim čvorovima. Omnidirekciona antena je korišćena za *gateway*, jer omogućava prijem signala iz svih pravaca, što je neophodno za centralnu tačku koja komunicira sa više čvorova raspoređenih u različitim pravcima. U poređenju sa *sector* antenama koje takođe mogu pokrivati velike oblasti, omnidirekcionalne antene omogućavaju jednostavniju implementaciju i stabilan prijem signala iz svih pravaca bez potrebe za preciznim podešavanjem.

Sa druge strane, ESP32 mikrokontroler implementiran je zbog niske potrošnje energije, kao i podrške za višenitno programiranje. ESP32 pruža mogućnost rada u *deep sleep* režimu, što značajno smanjuje potrošnju energije između perioda aktivnog rada. Kada je riječ o drugim kontrolerima kao što su *Arduino Uno* i *Raspberry Pi*, ESP32 pruža bolji balans između performansi i energetske efikasnosti. *Arduino Uno* ima jednostavniji dizajn i manju potrošnju energije, ali nema mogućnost višenitnog programiranja i podrške za *WiFi*, što ga čini manje pogodnim za složenije *IoT* aplikacije. *Raspberry Pi* pruža visoke performanse i mogućnosti, ali zahtijeva značajno veću potrošnju energije, što ga čini manje pogodnim za aplikacije sa baterijskim napajanjem.

Implementirani *LoRa* sistem predstavlja efikasno i pouzdano rješenje za prikupljanje i prenos podataka u *IoT* aplikacijama, sa posebnim naglaskom na energetske efikasno i dugotrajno funkcionisanje. Ovaj rad doprinosi razvoju *IoT* tehnologija, pružajući model koji može biti prilagođen i primijenjen u različitim industrijskim i istraživačkim okruženjima.

LITERATURA

- [1] Augustin, A., Yi, J., Clausen, T., Townsley, W. M. (2016). A study of LoRa: Long range & low power networks for the Internet of Things. *Sensors*, MDPI.
- [2] Lavric, A., Petrariu, A. I. (2018). LoRaWAN communication protocol: The new era of IoT. Paper presented at the 14th International Conference on Development and Application Systems, Suceava, Romania.
- [3] Noreen, U., Bounceur, A., Clavier, L. (2017). A study of LoRa low power and wide area network technology. In *Proceedings of the 2017 International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP)*.
- [4] Chevillon, R., Andrieux, G., Clavier, L., Diouris, J.-F. (2022). Stochastic geometry-based analysis of the impact of underlying uncorrelated IoT networks on LoRa coverage. *IEEE Access*.
- [5] Marahatta, A., Rajbhandari, Y., Shrestha, A., Singh, A. (2021). Evaluation of a LoRa mesh network for smart metering in rural locations. *Electronics*, MDPI.



XVI međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITEO 2024

Banja Luka, 27 - 28. 9. 2024. godine



PRIMJENA 5G MREŽNOG SUSTAVA I RAZVOJ NOVIH TEHNOLOGIJA

Dr. sc. Marijan Mijatović

Nezavisni Univerzitet Banja Luka, Veljka Mladenovića 12e, 78000 Banja Luka, Republika Srpska, Bosnia and Herzegovina. photo.by.mile@gmail.com

Dr. sc. Marko Mijatović

Sveučilište Hercegovina, Mostar. marko.mijatovic@hercegovina.edu.ba

Sažetak: *U današnje vrijeme tehnološki razvoj je ključan za poticanje inovacija i rasta u suvremenom poslovnom i industrijskom okruženju. Uvođenje mobilnih mreža promijenilo je način komunikacije i poslovanja kod ljudi u svijetu i organizacija, s generacijama mobilnih mreža koje održavaju dinamični razvoj novih tehnologija. Od prve generacije (1G do 4G) pratile su rastući trend i potrebe svih korisnika, omogućujući im glasovnu i podatkovnu komunikaciju te pristup internetu. 5G nova tehnologija predstavlja prekretnicu u evoluciji mobilnih mreža, pri tome nudeći veliku brzinu, kapacitet, i nisku latenciju potrebnu za budućnost poslovanja u svijetu.. Osnova nove 5G tehnologije ima tri ključna aspekta: unapređena širokopolasna komunikacija, izuzetno pouzdane i niske latencije, te izuzetno velika podrška masovnoj komunikaciji uređaja putem Interneta stvari (IoT). Nova generacija omogućava trenutačno preuzimanje i prijenos sadržaja, uz realnu i vremensku interakciju ključnu za pametne tvornice i električna vozila. Poslovne primjene 5G-a su brojne, uključujući unapređenje komunikacije, povećanje produktivnosti te razvoj interneta. Iako su stavovi korisnika razni, s nekim preferencijama za 4G opciju zbog relativno niske cijene, istraživanje naglašava potrebu za prilagodbom marketinške strategije i edukacijom kako bi se povećala prihvatljivost 5G mrežne tehnologije. Njegova sposobnost da podrži širok spektar aplikacija čini ga još većim faktorom u transformaciji poslovnog svijeta u budućnosti.*

Ključne riječi: *5G mrežna tehnologija, mrežni sustavi, poslovna primjena, latencija, telekomunikacije.*

1. UVOD

Razvoj 5G mreže je donio značajne promjene u načinu i povezivanju uređaja. Mobilna mrežna industrija započela je sa ekspanzijom i rastom od rane 1970-te godine.

U zadnjih nekoliko desetljeća mobilne mreže su doživjele razvoj i ekspanziju od prve generacije pa pa sve do trenutno tehnologije koja se koristi a ona je 4G mrežna tehnologija, te uskoro i sa 5G mrežnom tehnologijom koja je još uvijek u razvoju. Telekomunikacijska usluga je svuda u svijetu je doživjela ogroman skok u odnosu na posljednjih nekoliko godina.

Na zemlji u kojoj mi živimo danas je oko 5 milijardi ljudi koji koriste mobilni telefon, koji ima minimalno 3G mobilnu mrežu. U bliskoj budućnosti zadatak će biti da se ispune neki od glavnih ciljeva a to je da se povećata kapacitet i ubrza što bolji prijenos podataka, i puno bolja kvaliteta samih usluga.

Kako bi se riješili ovi zahtjevi, potrebno je napraviti i poboljšati strukturu mobilnih mreža u svijetu.

Kako bi se razvio novi mrežni sustav koji predstavlja veliki napredak te ujedno i veliki izazov za korisnike. Za ovu realizaciju novog mrežnog sustava potrebno je unaprijediti još veću brzinu protoka informacija, te sigurnost i stabilnost nove 5G tehnologije.

Tehnologija koja će da omogućava značajno veće brzine protoka podataka uz relativno vrlo mala odstupanja. Sve to omogućava poduzetnicima za njihove što efikasnije poslovne primjene i napredak u poslovanju.. Isto tako će se održati i sastanci u europski bez prekidanja u prijenosu podataka. Iste će se moći realizirati potpuna cloud primjena i pohrana zbog izuzetno velikih brzina prijenosa podataka, tako da će pohranjivanje podataka na stari način biti potpuno nepotrebno.

Razvoj i primjena 5G mrežnog sustava koji uključuje i različite primjene drugih aktera, a to su: telekomunikacijske operatore, oprema, i razne druge agencije. Također uspjeh mrežnog sustava ovisi o usklađenosti s pravilima, i standardima kontinuiranom razvoju i istraživanju u narednom periodu

2. RAZVOJ I EKSPANZIJA MREŽNOG SUSTAVA 5G

Mrežni sustav 5G danas je veoma ogroman, važno je znati da se proizvodnja još uvijek nalazi u početnim fazama razvoja novijih tehnologija. Proces implementacije 5G mrežnog sustava započeo je prije mnogo godina i zahtijevao je izgradnju nove infrastrukture, koja je bila uglavnom financirana od strane drugih bežičnih mrežnih operatera.

Konstrukcija 5G mrežnog sustava tehnologije predstavlja značajna unapređenja u odnosu na tehnologiju 4G LTE, koja slijedi nakon 3G i 2G mrežnog sustava. Uvijek postoji vremensko razdoblje u kojem je istovremeno više generacija mrežnih sustava. Kao i njegovi prethodnici, 5G mrežni sustav mora se identificirati s prethodnim mrežnim sustavima iz ovih razloga:

- razvoj i implementiranje novih mrežnih tehnologija zahtijeva dugoročni period i vrijeme i ulaganje glavnih operatera;
- neki ljudi žele što prije da iskoriste nove tehnologije, dok oni koji su uložili značajna sredstva u velike implementacije istih mrežnih tehnologija poput 2G, 3G i 4G LTE žele da iskoriste ta ulaganja u što je duže mogući period, i to dok novi mrežni sustav 5G potpuno ne bude zaživjeo.

Razvoj 5G mrežnog sustava zahtijeva suradnju između telekomunikacijskih operatera, tehnoloških kompanija, i regulacijskih tijela. Kako se infrastruktura 5G mrežnog sustava razvija, očekuje se da će donijeti značajne promjene u načinu na koji se koristi nova tehnologija, razvitat iste i inovacije u dalekoj budućnosti.

3. KARAKTERISTIKE 5G NOVE MOBILNE MREŽE

Osnovne karakteristike 5G mrežnog sustava su:

- njegova brzina i kapacitet: Glavna karakteristika 5G mrežnog sustava je njegova sposobnost pružanja visokih brzina prijenosa podataka. Očekivanja su da će 5G omogućiti brzine koje će biti nekoliko gigabita po sekundi, što je znatno brže od trenutnih 4G mrežnih sustava. Veća brzina omogućava brže preuzimanje i spremanje

podataka, kao i bolje iskustvo korisnika u gledanju video sadržaja, igranju igara i drugim aplikacija visokih rezolucija.

- **latencija:** latencija se odnosi na štopanje u komunikaciji između vašeg komunikacijskog uređaja i mreže, 5G mrežni sustav cilja na vrlo nisku latenciju, što znači da podaci trenutno putuju između korisničkog uređaja i mreže. To je iznimno ključno za aplikacije koje zahtijevaju puno vremena, kao što su električna vozila, roboti, i virtualna stvarnost.
- **frekvencija:** 5G mrežni sustav koristi širi obujam frekvencija za prijenos podatkovnog sadržaja, uključujući visokofrekvencijske spektralne opsege, poznate kao milimetarsko precizni valovi, koji omogućavaju što veći kapacitet i brzinu, međutim imaju i puno kraći domet i znatno su osjetljivi na zapreke. Ovo zahtijeva postavljanje više baznih stanica kako bi se osigurala što bolja pokrivenost.
- **MIMO tehnologija:** Multiple Input Multiple Output (MIMO) tehnologija igra ključnu ulogu u 5G mrežnim sustavima, ona koristi više antena za prijenos i prijem podataka, čime se osigurava veća učinkovitost, i pouzdanost komunikacije između korisnika mreža.
- **pametna mreža:** 5G mreža nije samo za povećanje brzine već i promjena u samoj arhitekturi mrežnog sustava, već se koristi kao koncept mreža i usluga, gdje se mrežne resurse može dinamički alocirati prema potrebama korisnika, omogućujući im što bolje da se prilagode novom sustavu, te potpunu efikasnost sadržaja.
- **internet stvari (IoT):** 5G mrežni sustav je posebno dizajniran za podršku ogromnom broju uređaja koji su povezani preko interneta, ova karakteristika omogućuje rastuće polje internet stvari, gdje se uređaji od kućanskih aparata do senzora u raznim kompanijama i gospodarstvu, mogu povezivati i razmjenjivati podatke u realnom vremenu.

Pošto se već temelji na postojećim tehnologijama, 5G mrežni sustav omogućava inovacijske primjene. Kada govorimo o 5G mrežnom sustavu zapravo mislimo o grupi različitih tehnologija. Različite tehnologije omogućavaju korisnicima da mobilne mreže koriste za razne primjene u privatnom i poslovnom sektoru. Tako 5G tehnologija omogućava brži pristup internetu, veći broj povezanih uređaja na mrežu i odličnu komunikaciju s manjim ili gotovo nikakvim odstupanjima i problemima.

Očekivanja su da da bi 5G mrežni sustav mogao imati značajan ekonomski utjecaj na europski BDP u periodu od 2021. do 2025., potencijalno koji bi mogao da doprinese iznosom od 1 bilijun eura.

Mrežni sustav novije generacije 5G s njegovom arhitekturom mreže, ima potencijal da podrži tisuće novih aplikacija kako u potrošačkom, tako i u industrijskom sektoru. Mogućnosti 5G tehnologije izgledaju gotovo neograničene, kada su brzina i pouzdanost u pitanju one su eksponencijalno veće i bolje od mreža u prethodnim generacijama.

Mreže pete generacije nose sa sobom potencijal za poticanje raznih prilika za ekonomski razvoj, ali isto tako nose i brojne rizike sa sobom. U svojoj smjernici iz 2019. godine vezanoj za cyber sigurnost 5G mrežnih sustava, Europska Komisija je upozorila da bi veliki oslonac na 5G mreže za ključne usluge, mogao imati i ozbiljne probleme u slučaju širih poremećaja i ekspanzije.

Zatim, zbog prirode prijetnji koje ne poznaju granice, veće ranjivosti ili cyber sigurnosni napadi u jednoj od država članica unije, imali bi nepovoljan utjecaj na cijelu Europsku uniju.

Jedna od posljedica ove smjernice bila je usvajanje paketa instrumenata Europske unije za osiguranje cyber sigurnosti 5G mrežnih sustava, koja je bila u siječnju 2020. godine.

4. PREDNOSTI 5G U ODNOSU NA PRETHODNU GENERACIJU MOBILNIH MREŽA

Velike promjene na razini jezgre u samoj mreži su među mnogim arhitektonskim promjenama koje prate prijelaz sa prethodne generacije mrežnog sustava na 5G noviju, uključuje migraciju na milimetarski val, masivni MIMO, „rezanje mreže“ i suštini svaki drugi element različitog mrežnog ekosustava.

4G jezgra (Evolved Packet Core - EPC) značajno se razlikuje od 5G jezgre, pri čemu 5G jezgra koriste virtualizaciju i dizajn softvera na osnovi oblaka na dosad neviđenim razinama.

Mimo ovoga, među ostalim promjenama koje razlikuju 5G jezgru od njenog 4G prethodnika su funkcija korisničkog sloja (*User Plane Function - UPF*) radi razdvajanja kontrole paketnog prolaza i funkcija korisničkog sloja, te funkcija za upravljanje pristupom i mobilnošću (*Access and Mobility Management Function - AMF*) radi odvajanja funkcija upravljanja sesijama od zadataka povezivanja pa sve do upravljanja mobilnošću.

Implementacija 5G tehnologije donosi značajne prednosti u kvačiliteti i performansama te raznovrsnosti aplikacija putem široke upotrebe oblakom temeljenih resursa, virtualnih, rezanja mreže te drugih novih tehnologija.

Sami dizajn je proširenim kapacitetom kako bi omogućio iskustva korisnika nove generacije tehnologije, te podržao nove modele implementacije i pružio isto tako i nove usluge.

5G tehnologija nudi razne prednosti u odnosu na svoje prethodnike:

- velika brzina prijenosa podataka, korisnici mogu brže preuzimati sadržaj i otpremati ga a to su (videozapisi ili datoteke velikog kapaciteta).
- puno veći kapacitet mreže - ogroman broj uređaja koji istovremeno koriste mrežu bez gubitka performansi.
- podrška za više uređaja istovremeno, povezivanje puno većeg broja uređaja na istu mrežu nego što je to bilo moguće sa 4G mrežnim sustavom (to je vrlo bitno za internet i uređaje te pametne kuće gdje su mnogi uređaji povezani na mrežu)
- mala latencija, spušta se na jednoznamenaste milisekunde, što je jako važno u aplikacijama kao što su povezivanje vozila u sustavima inteligentnog prometa (ITS) i električna vozila, gdje je potrebna gotovo trenutačna i brza reakcija;
- razvijene mogućnosti za gospodarstvo, nove mogućnosti poput daljinskog upravljanja i praćenja u realnom vremenu, što povećava učinkovitost i sigurnost u različitim sektorima kao što su proizvodnja, zdravstvo, i transportna industrija.

Može se reći da je 5G novija tehnologija namijenjena pružanju većih brzina podataka u višestrukim gigabitima po sekundi nego 4G prethodna, jako je niske latencije, ima puno veću pouzdanosti, te je ogromnog kapaciteta mreže, povećane dostupnosti te ujednačenog broja

korisničkog iskustva za puno veći broj korisnika. Produktivnost, učinkovitost, i poboljšana efikasnost omogućava nove korisničke doživljaje i povezivanje novih kompanija.

Velikim brzinama, iznimnom produktivnošću i zanemarivom latencijom, 5G mrežni sustav će u budućnosti zasigurno proširiti mobilni ekosustav u nove sfere našeg života. On će utjecati na svaku industriju, čineći što sigurniji prijevoz, udaljenu zdravstvenu zaštitu, preciznu poljoprivredu, i digitalnu logistiku te još puno toga drugog.

5. ZAKLJUČAK

U današnjem svijetu ubrzanih promjena i zahtjeva u poslovanju, tehnološki napredak igra jako veliku ulogu u omogućavanju inovacija i rasta. Prilikom uvođenja mobilnih mreža temeljito je oblikovan način na koji organizacije komuniciraju, provode operacije i integriraju se s korisnicima. Generacije mobilnih mrežnih sustava, od početnih 1G do trenutnog fokusa na 5G, svjedočimo o dinamičnom razvoju tehnologije koja potiče revolucijske promjene u poslovanju i napretku kroz samo gospodarstvo u zemljama.

Mobilne mreže su prošle kroz značajne promjene i napredak kako bi se zadovoljilo sve potrebe ogromnom broju korisnika. S ulaskom u 4G mrežni sustav brza i pouzdana internetska veza omogućila je streaming, video sadržaje, te aplikacije temeljene na oblaku.

Prednosti 5G novije tehnologije nadilaze mogućnosti prethodnih generacija. Brzina i kapacitet mreže omogućuju preuzimanje i prijenos sadržaja gotovo trenutno, poboljšavajući korisničko iskustvo i učinkovitost u poslovanju. Dakle jako je važno da trenutno, niska latencija od manje od 1 ms omogućuje u realnom vremenu interakciju, ključnu za aplikacije poput pametnih tvornica, i električnih vozila. U današnje vrijeme sve je veći broj uređaja koji mogu biti istodobno povezani, to ujedno podržava rastući ekosustav *Internet of Things (IoT)*.

Mogućnost povezivanja velikog broja uređaja omogućava automatizaciju, praćenje u stvarnom vremenu i optimizaciju operacija. Prema tome, niska latencija 5G omogućava pametnim tvornicama i industrijama da postignu visoku preciznost, mobilnost, automatizaciju i optimalnu upotrebu svojih resursa.

LITERATURA

- [1] CCNA Routing and Switching Portable Command Guide (ICND1 100-105, ICND2 200-105, and CCNA 200-125) 4th edition – Scott Empson, 2013.
- [2] Computer Networks, Prentice Hall – Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall; 01.06.2002
- [3] Ilišević, Saša, Brzi vodič kroz kućen mreže, BUG & SysPprint, Zagreb, 2003
- [4] Junald Arshad, M., Farooq, A., Shah, A. (2010): Evolution and Development Towards 4th Generation (4G) Mobile Communication Systems. Journal of American Science; 6(12): 63-68.
- [5] Optical Communication Networks – McGraw-Hill; 1st edition January 15, 1997 – Biswanath Mukhrjee
- [6] Sinković, Vjekoslav, Informacijske mreže, Školska knjiga, Zagreb 1994.
- [7] Skupina autora (Alen Božant, Gordan Gledec, Željko Ilić, Gordan Ježić, Mladen Kos, Marijan Kunštić, Ignac Lovrek, Maja Matijašević, Branko Mikac, Vjekoslav Sinković), Osnove arhitekture mreža, Zagreb, 2004
- [8] Smith, C., Collins, D. (2000): 3G Wireless Networks. McGraw-Hill TELECOM Professional.



XVI međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2024

Banja Luka, 27 - 28. 9. 2024. godine



TRENTNI RIZICI OD MALICIOZNIH SOFTVERA I INTERNET NAPADA

Boris Kovačić

Agencija za lijekove i medicinska sredstva BiH, b.kovacic@almbih.gov.ba

Apstrakt: Cilj istraživanja je ukazati na trenutne rizike od malicioznih softvera i napada na računare i računarske mreže

Abstract: The aim of the research is to point out the current risks of malicious software and attacks on computers and computer networks

Key Words: Trojan, Worm, Virus, Ransomware, Exploit, Network attack, malicious software, DoS attack

1. UVOD

Kada pomenemo maliciozni softver u informatici asocira nas na računarski virus, crv, trojanac ili drugi vid malicioznog softvera.

Računalni virus je računarski program koji svojom reprodukcijom može zaraziti računare tako da bez dopuštenja ili znanja korisnika kopira samog sebe u sistem ili memoriju ciljanog računarskog sistema. Izraz "virus" često se povezuje i s zlonamjnim programima poput programa za oglašavanje (engl. *adware*) i programa za prikupljanje podataka (engl. *spyware*), koji nemaju sposobnost reprodukcije kao virus. Virusi se šire najčešće s jednog računara na drugi u obliku izvršnog zlonamjnog koda putem interneta, priloga u e-pošti, porukama ili medija poput vanjskog tvrdog diska, CD, DVD ili USB medija. Povećana je mogućnost širenja virusa u slučaju da se folderi zaraženi virusom nalaze na serveru kojem može pristupiti više korisnika.

Osnovne vrste virusa ću navesti u daljnjem tekstu.

boot sektor virusi – kopiraju svoj zlonamjini kod u *Master boot* sektor i tako osiguravaju izvršenje zlonamjnog koda pri svakom pokretanju računarskog sistema

programski virusi – aktiviraju se pri izvršenju zaražene izvršnog fajla, najčešćom s ekstenzijom .exe ili .com

makro virusi – virusi koji su napisani višim programskim makro jezikom, imaju mogućnost kopiranja i brisanja samih sebe te mijenjanja dokumenata

Trojanski konj ili kraće trojanac je zlonamjini računarski program koji se lažno predstavlja kao neki drugi program s korisnim ili poželjnim funkcijama.

Većina trojanaca ima nazive vrlo slične ili uobičajenim korisničkim programima ili posebno primamljivim aplikacijama. Za razliku od virusa i crva, trojanski konj ne može sam sebe umnožavati, ali korisnik ga može prekopirati na drugi računar.

Naziv trojanski konj nastao je po priči o osvajanju grada Troje putem zloupotrebe povjerenja. Na sličan se način virtualni trojanski konj može predstaviti kao igra ili zanimljiv sadržaj koji se šalje u e-pošti. Kada se pokrene, na računar se na primjer instalira aplikacija za udaljeni pristup kojom zlonamjerni korisnik prisupa i kontrolira računar.

Trojanski konj, je zlonamjerni softver koji može izvoditi razne aktivnosti poput krađe korisničkih lozinki, brojeva kreditne kartice, PIN-a i drugih osjetljivih informacija koje potom šalje nekoj drugoj osobi ili može nepotrebno zauzimati resurse računara usporavajući ga na taj način. Vrlo često trojanski konji pristupaju različitim internetskim stranicama kako bi preuzeli neku, obično inficirani fajl ili više njih. Nakon preuzimanja ih pokreću te tako instaliraju dodatan štetni softver na zaraženom računaru. Mogu se također spajati na određene IRC-ove kanale kako bi primali naredbe od zlonamjerna korisnika.

Osim u e-pošti, trojanski konji mogu se pojaviti u obliku datoteka na Internetu ili mrežama za razmjenu datoteka (P2P programi - *Kazaa*, *WinMX*, *Limewire*). Mogućnosti su neograničene jer je metoda širenja korisnikovo povjerenje. Jedan od „simptoma” koji pokazuje računar na kojem se nalazi trojanski konj je pokušaj podizanja servera na korisnikovom računaru koji očekuje naređenja autora. Uz instaliran i aktivan lični zaštitni zid, ovaj pokušaj bit će evidentiran i moguće ga je zaustaviti i blokirati. U daljem tekstu navesti ću par vrsta trojanskih konja.

Dropper - služi za inficiranje računarskog virusa u napadnuti računar. Dropper igra ulogu žrtve, namjerno omogućujući virusu da se naseli u računar. To je program koji ugrađuje u sebe dodatnu komponentu zlonamjernog programa. [3].

Backdoor („zadnja vrata”) – naziv za različite postupke ili programe koji omogućuju drugom korisniku da se služi žrtvinim računarom dok je spojen na Internet, a da korisnik računara to ne zna. Uopšteno „zadnja vrata“ iskorištavaju sigurnosne propuste („rupe“) u računarskom sistemu. Često se trojanac i *backdoor* koriste zajedno: žrtva pokrene program za koji misli da je koristan (npr. *download manager* ili neku igru) i dok ga koristi, trojanac ubaci *backdoor* u računar.

Downloader - trojanski konj koji pristupa različitim internetskim stranicama kako bi s njih preuzeo, obično zlonamjerne datoteke te ih na kraju i pokrenuo. Ova vrsta zlonamjernih programa je najjednostavniji tip na koji možete naići tokom analize zlonamjernih programa. [3].

Zlonamjerni softveri pod nazivom računarski crvi su čija je najčešća namjena preuzeti kontrolu nad računarom i omogućiti udaljenu kontrolu čak i nakon primjene sigurnosnih zakrpa na računaru. Ovo postižu otvaranjem takozvanih "zadnjih vrata" (engl. *backdoor*) kroz koja autor može izdavati naredbe računaru bez znanja korisnika. Čak i kada crv sam po sebi nema zlonamjernog koda, što je ponekad bio slučaj, količina mrežnog prometa koji stvara šireći se može usporiti ili čak onemogućiti normalan rad na Internetu ili lokalnoj mreži. Neki crvi posegnut će i za šiframa i korisničkim podacima te ih staviti na raspolaganje autoru. Vrlo čest uzrok usporavanja internet konekcije zaista mogu biti crvi, te se nemojte iznenaditi ako dobijete hrpu upozorenja zbog raznih neželjenih poruka koje računar zaražen crvom, šalje na milione adresa e-pošte..

Exploit je napad na računarski sistem gde napadači koriste ranjivost aplikacije ili sistema kako bi presreli komunikaciju i preuzeli kontrolu nad računarom ili aplikacijom. Poslije uspešnog

exploita, napadač može da onesposobi ciljanu aplikaciju ili da potencijalno dobije sve privilegije i prava koje postoje za kompromitovanu aplikaciju.

U daljnjem tekstu ću navesti statistiku iz trenutno dostupnih izvora, te ukazati na trenutno najčešćih infekcija.

2. STATISTIKA MALICIOZNIH SOFTVERA

U daljnjem tekstu predstavljam statistiku najčešćih malicioznih softvera. Uvidom u top deset malicioznih softvera na pristupnom skeniranju u Bosni i Hercegovini i u svijetu su prvih 5 najčešćih su skoro identični, samo je redoslijed malo drugačiji.

Top deset - Na pristupnom skeniranju u prethodnom mesecu u svijetu [4]

1. DangerousObject.Multi.Generic	11.21%
2. VHO:Trojan.MSIL.BitCoin.kmn	3.75%
3. Trojan.WinLNK.Agent.gen	2.41%
4. Trojan.Win32.Hosts2.gen	2.27%
5. Trojan.Win32.Convagent.gen	2.23%
6. Trojan.Win32.Agent.gen	1.94%
7. Trojan.Win32.Agentb.bqyr	1.58%
8. Worm.Python.Agent.gen	1.48%
9. Virus.Win32.Pioneer.cz	1.47%
10. VHO:Trojan.Win32.Convagent.gen	1.37%

Top deset - Na pristupnom skeniranju u prethodnom mesecu u Bosni i Hercegovini [4]

1. VHO:Trojan.MSIL.BitCoin.kmn	9.79%
2. DangerousObject.Multi.Generic	7.8%
3. VHO:Trojan.Win32.SelfDel.gen	4.23%
4. Trojan.WinLNK.Agent.gen	3.44%
5. Trojan.Script.Generic	3.44%
6. Trojan.Win32.PowerShell.gen	3.31%
7. Virus.Acad.Bursted.a	3.17%
8. Trojan.Win32.Hosts2.gen	3.04%
9. Trojan.Win32.AutoRun.gen	2.78%
10. Trojan.Win32.Strab.peb	2.78%

Top 10 otkrivenih pretnji *Ransomware*-klase pretnje [4]

1. Trojan-Ransom.MSIL.Blocker.gen	47,37%
2. Trojan-Ransom.MSIL.PolyRansom.gen	10,53%
3. Trojan-Ransom.Win32.Foreign.pef	8,42%
4. Trojan-Ransom.Win32.Crypren.gen	7,37%
5. Trojan-Ransom.MSIL.Mallox.gen	5,26%
6. Trojan-Ransom.Win32.Foreign.kyeu	4,21%
7. Trojan-Ransom.Win32.Blocker.jaic	3,16%
8. Trojan-Ransom.Win32.PornoAsset.hw	3,16%
9. Trojan-Ransom.Win32.Crypmod.gen	3,16%
10. Trojan-Ransom.Win32.Blocker.pef	2,11%

2.1. Trojan-Ransom.MSIL.Blocker.gen

Ova vrsta trojanca menja podatke na računaru žrtve tako da žrtva više ne može da koristi podatke, ili sprečava računar da radi ispravno. Kada su podaci "uzeti kao taoci", blokirani ili šifrovani, korisnik će dobiti zahtev za otkupninu. Zahtev za otkupninu govori žrtvi da pošalje zlonamjerni novac korisnika; Po prijemu ovoga, sajber kriminalac će poslati program žrtvi da vrati podatke ili vrati performanse računara.

Zajednički srednji jezik (ranije poznat kao *Microsoft Intermediate Language*, ili *MSIL*) je srednji jezik koji je razvio Microsoft za .NET Framework. CIL kod generišu svi Microsoft.NET kompajleri u Microsoft Visual Studio-u (Visual Basic.NET, Visual C ++, Visual C # i drugi).



Slika 1 Snimak ekrana poruke koja podstiče korisnike da plate otkupninu za dešifrovanje svojih kompromitovanih podataka [6]

Ovaj malver je prvi put otkrio istraživač bezbednosti malvera pod nazivom SecPanda. Kada se infiltrira, virus šifruje različite datoteke i dodaje povezana imena datoteka sa ekstenzijom ".ransom" (na primjer, "sample.jpg" je preimenovan u "sample.jpg.ransom"). MSIL zatim kreira dvije tekstualne datoteke ("README_TO_DECRYPT_FILES.txt" i "README_TO_DECRYPT_FILES.html"), stavljajući ih u svaku fasciklu koja sadrži šifrovane datoteke. *HTML* i *.txt* fajlovi sadrže identičnu poruku o otkupninu u kojoj se navodi da su fajlovi šifrovani i da žrtva mora da plati otkupninu od 0.3 Bitcoin da bi ih vratila. Trenutno nije poznato koju vrstu kriptografije (simetrične ili asimetrične) koristi *MSIL*, međutim, u oba slučaja, dešifrovanje bez jedinstvenog ključa je nemoguće.

Inicijalni pristup preko prenosnih USB medija. Protivnici mogu da pređu na sisteme, verovatno one na nepovezanim mrežama ili mrežama sa vazдушnim razmakom, kopiranjem zlonamernog softvera na prenosive medije i korišćenjem prednosti funkcija automatskog pokretanja kada se medij ubaci u sistem i izvrši. U slučaju *Lateral Movement*, ovo se može desiti modifikacijom izvršnih datoteka koje se nalaze na prenosivim medijima ili kopiranjem malvera i preimenovanjem da izgleda kao legitimna datoteka kako bi prevarila korisnike da ga izvrše na posebnom sistemu. U slučaju inicijalnog pristupa, to se može desiti ručnom manipulacijom medija, modifikacijom sistema koji se koriste za početno formatiranje medija ili modifikacijom samog firmvera medija.

2.2. Trojan-Ransom.MSIL.PolyRansom.gen

Ova vrsta trojanca menja podatke na računaru žrtve tako da žrtva više ne može da koristi podatke, ili sprečava računar da radi ispravno. Kada su podaci "uzeti kao taoci" (blokirani ili šifrovani), korisnik će dobiti zahtev za otkupninu. Zahtev za otkupninu govori žrtvi da pošalje zlonamerni novac korisnika; Po prijemu ovoga, sajber kriminalac će poslati program žrtvi da vrati podatke ili vrati performanse računara.

Statistika o eksploitim otkrivenim od strane različitih bezbednosnih komponenti [4]

1. Exploit.MSOffice.CVE-2017-11882.gen	64,71%
2. Exploit.Win32.PoolSpray.w	17,65%
3. Exploit.OLE2.Wahel.a	5,88%
4. Exploit.MSOffice.Generic	2,94%
5. Exploit.IphoneOS.Vortex.a	2,94%
6. Exploit.HTTP.CVE-2017-5638.gen	2,94%
7. Exploit.Script.CVE-2024-32651.a	2,94%

2.3. Exploit.MSOffice.CVE-2017-11882.gen

Eksploiti su programi koji sadrže podatke ili izvršni kod koji koriste jednu ili više ranjivosti u softveru koji radi na lokalnom ili udaljenom računaru u očigledno zlonamerne svrhe. Zlonamerni korisnici često koriste eksploataciju kako bi prodreli u računar žrtve kako bi naknadno instalirali zlonamerni kod (na primer, da zaraze sve posetioce kompromitovanog sajta zlonamernim programom). Pored toga, podvige obično koriste Mrežne crve kako bi hakovali računar žrtve bez ikakve akcije koja se traži od korisnika. Nuker programi su značajni među eksploatacijama; Takvi programi šalju specijalno izrađene zahteve lokalnim ili udaljenim računarima, uzrokujući pad sistema.

Microsoft Office je multiplatformski paket aplikacija za produktivnost koje je objavio Microsoft. Office aplikacije su kompatibilne sa mnogim vrstama datoteka i sadržaja.

Infekcija se izvodi fišing napadom putem priloga u elektronskoj pošti.

Protivnici mogu slati spearfishing e-poštu sa zlonamernim prilogom u pokušaju da dobiju pristup sistemima žrtava. Spearfishing prilog je specifična varijanta spearfishing-a. Spearfishing prilog se razlikuje od drugih oblika spearfishing-a po tome što koristi upotrebu zlonamernog softvera priloženog e-pošti. Svi oblici spearfishing-a su elektronski isporučeni socijalni inženjering usmeren na određenu osobu, kompaniju ili industriju. U ovom scenariju, protivnici prilažu datoteku na spearfishing e-poštu i obično se oslanjaju na izvršenje korisnika da bi dobili izvršenje. Spearfishing takođe može uključivati tehnike socijalnog inženjeringa, kao što je predstavljanje pouzdanog izvora.

Postoji mnogo opcija za prilog kao što su Microsoft Office dokumenti, izvršne datoteke, PDF-ovi ili arhivirane datoteke. Nakon otvaranja priloga (i potencijalno klikom na prošle zaštite), protivnički korisni teret eksploitiše ranjivost ili se direktno izvršava na korisničkom sistemu. Tekst spearfishing e-pošte obično pokušava da pruži uvjerljiv razlog zašto datoteku treba otvoriti, i može objasniti kako zaobići zaštitu sistema kako bi to učinili. E-pošta takođe može da sadrži uputstva o tome kako da dešifrujete prilog, kao što je lozinka za zip datoteku, kako bi se izbegla odbrana granica e-pošte. Protivnici često manipulišu ekstenzijama datoteka i ikonama

kako bi priložene izvršne datoteke izgledale kao datoteke dokumenata, ili datoteke koje eksploatišu jednu aplikaciju izgledaju kao datoteka za drugu.

Statistika o pretnjama otkrivenim od strane *Web Anti-Virus* komponente [4]

1.	Trojan.BAT.Agent.che	65,26%
2.	Trojan.PowerShell.Generic	14,27%
3.	Trojan.Script.Generic	11,21%
4.	Trojan.Script.Agent.gen	2,54%
5.	Trojan-PSW.Script.Generic	1,33%
6.	Trojan.Win32.Heavy.gen	0,81%
7.	Trojan.PDF.Badur.gen	0,70%
8.	Trojan.Script.Balada.gen	0,55%
9.	Trojan.Script.Redirector.gen	0,27%
10.	Trojan-Spy.MSIL.Noon.gen	0,26%

2.4. Trojan.BAT.Agent.che

Ovaj trojanac stiže na sistem kao datoteka koju je ispustio drugi zlonamerni softver ili kao datoteka koju su korisnici nesvesno preuzeli prilikom posete zlonamernim sajtovima.

Ovaj trojanac ispušta sledeće fajlove:

```
%Temp%\TMP23875.bat -> deleted afterwards
```

```
%Temp%\TMP23876.bat
```

Dodaje sledeće procese:

```
chcp 437
```

```
schtasks /create /ru system /tn "\Microsoft\Windows\WwanSvcdfs" /tr "cmd /c %Temp%\TMP23875.bat" /sc once /st 23:59
```

```
ping -n 3 {BLOCKED}.{BLOCKED}.0.1
```

```
schtasks /run /tn "\Microsoft\Windows\WwanSvcdfs"
```

```
schtasks /delete /tn "\Microsoft\Windows\WwanSvcdfs" /f
```

Statistike o zemljama u kojima su Kasperski rešenja zabeležila najveću količinu e-mail spama, kao i najčešće aktivirane metode i tehnologije otkrivanja neželjene pošte [4]

1.	Analysis of Formal Attributes	63,34%
2.	Automated Analysis of Formal Attributes	8,58%
3.	Linguistic Analysis	6,28%
4.	Analysis of Sender Attributes	0,66%
5.	Enforced Anti-Spam Update Service	0,19%

Statistika o pretnjama otkrivenim u zlonamernom e-pošti [4]

1.	DangerousObject.Multi.Generic	10,93%
2.	Trojan.Win32.Badun.gen	9,34%
3.	Trojan.Script.Generic	9,22%

4. Trojan-PSW.MSIL.Agensla.gen	8,95%
5. Trojan.MSIL.Taskun.gen	8,37%
6. Trojan-Spy.MSIL.Noon.gen	8,08%
7. Hoax.HTML.Phish.zy	6,53%
8. Trojan.Script.SAgent.gen	5,89%
9. Trojan.Win32.Makoob.gen	5,38%
10. Trojan.NSIS.Makoob.o	2,46%

2.5. DangerousObject.Multi.Generic

DS: DangerousObject.Multi.Generic je vrsta malvera koji je klasifikovan kao *ransomware* ili trojanski virus. Često je ugrađen u datoteke dokumenata i programa *Settings* kao komponenta C diska. UDS: DangerousObject.Multi.Generic je moćan i opasan malver. Teško je otkriti i još teže ukloniti sa pogođenog računara.

Evo liste simptoma i efekata ovog *ransomware*-a:

- *Uds: DangerousObject.Multi.Generic* može ograničiti pristup vašim datotekama, ostaviti napomene o otkupnini kao obaveštenja, usporiti računar i blokirati neke druge programe od pokretanja.
- Ovaj trojanac pokreće zlonamerne skripte i neovlašćene unose u vaše systemske direktorijume.
- *Uds: DangerousObject.Multi.Generic* može da radi u pozadini i snima svoje informacije kao što su bankarske informacije, sačuvane lozinke i istorija pregledanja.
- Ovaj virus može da prijavi pritiske na tastere, pristupite kameri i redovno pravite snimke ekrana.
- Može se povezati sa komandno-kontrolnim serverima i preneti tehničke informacije o vašem računaru, omogućavajući hakerima da pristupe sistemu na daljinu.
- Trojanci kao što su *Uds: DangerousObject.Multi.Generic* će oslabiti bezbednost vašeg računara stvaranjem *backdoor* pristup i dovesti do drugih *ransomware* i virusnih infekcija.

Statistika o pretnjama otkrivenim od strane komponente Blokatora mrežnih napada [4]

1. Bruteforce.Generic.Rdp.a	45,18%
2. DoS.Generic.Flood.TCPSYN	38,31%
3. Bruteforce.Generic.Rdp.d	14,67%
4. Intrusion.Win.MS17-010.o	1,40%
5. Scan.Generic.PortScan.TCP	0,21%
6. Bruteforce.Generic.Rdp.c	0,10%
7. Scan.Generic.PortScan.UDP	0,09%
8. Intrusion.Win.MS17-010.p	0,02%
9. Intrusion.Generic.Agent.gen	0,01%
10. Intrusion.Generic.CVE-2021-44228.a	0,00%

Statistika o pretnjama otkrivenim na uređajima korisnika Kasperski [4]

1.	VHO:Trojan.MSIL.BitCoin.kmn	9,79%
2.	DangerousObject.Multi.Generic	7,80%
3.	VHO:Trojan.Win32.SelfDel.gen	4,23%
4.	Trojan.WinLNK.Agent.gen	3,44%
5.	Trojan.Script.Generic	3,44%
6.	Trojan.Win32.PowerShell.gen	3,31%
7.	Virus.Acad.Bursted.a	3,17%
8.	Trojan.Win32.Hosts2.gen	3,04%
9.	Trojan.Win32.AutoRun.gen	2,78%
10.	Trojan.Win32.Strab.peb	2,78%

Statistika o pretnjama otkrivenim ručno pokretanje skeniranja na zahtjev [4]

1.	Trojan.Multi.Agent.gen	14,91%
2.	Exploit.Win32.BypassUAC.vho	8,69%
3.	VHO:Trojan.Win32.GenericML.xnet	4,95%
4.	DangerousObject.Multi.Generic	3,99%
5.	Trojan-PSW.MSIL.Agensla.gen	3,81%
6.	Backdoor.Win32.Androm.vho	2,42%
7.	Trojan-Spy.Win32.Zbot.vho	2,39%
8.	Trojan.MSIL.Taskun.gen	1,78%
9.	Trojan.Script.Generic	1,57%
10.	Trojan.Multi.GenBadur.gen	1,54%

2.6. Trojan.Multi.Agent.gen

Zlonamerni program dizajniran da elektronski špijunira aktivnosti korisnika (presretanje unosa tastature, snimanje ekrana, snimanje liste aktivnih aplikacija, itd.). Prikupljene informacije se šalju sajber kriminalcu na različite načine, uključujući e-poštu, FTP i HTTP (slanjem podataka u zahtevu).

2.7. Exploit.Win32.BypassUAC

Zlonamerni alati su zlonamerni programi dizajnirani da automatski stvaraju viruse, crve ili trojanace, sprovode DoS napade na udaljene servere, hakuju druge računare itd. Za razliku od virusa, crva i trojanaca, zlonamerni softver u ovoj podklasi ne predstavlja direktnu pretnju računaru na kojem radi, a zlonamerni korisni teret programa se isporučuje samo po direktnom nalogu korisnika.

Eksploiti su programi koji sadrže podatke ili izvršni kod koji koriste jednu ili više ranjivosti u softveru koji radi na lokalnom ili udaljenom računaru u očigledno zlonamerne svrhe. Zlonamerni korisnici često koriste eksploataciju kako bi prodreli u računar žrtve kako bi naknadno instalirali zlonamerni kod (na primer, da zaraze sve posetioce kompromitovanog sajta zlonamernim programom). Pored toga, podvige obično koriste Net-Vorms kako bi hakovali računar žrtve bez ikakve akcije koja se traži od korisnika. Nuker programi su značajni među eksploitima; Takvi programi šalju specijalno izrađene zahteve lokalnim ili udaljenim računarima, uzrokujući pad sistema.









Win32 je API na operativnim sistemima zasnovanim na Windows NT (Windows XP, Windows 7, itd.) koji podržava izvršavanje 32-bitnih aplikacija. Jedna od najrasprostranjenijih programskih platformi na svetu.

Ova porodica uključuje eksploite koji su dizajnirani da zaobiđu kontrolu korisničkog naloga (UAC). Kontrola korisničkog naloga je Microsoft Windows bezbednosna funkcija koja pomaže u sprečavanju neovlašćenih promena u operativnom sistemu.

3. STATISTIKA MREŽNIH NAPADA

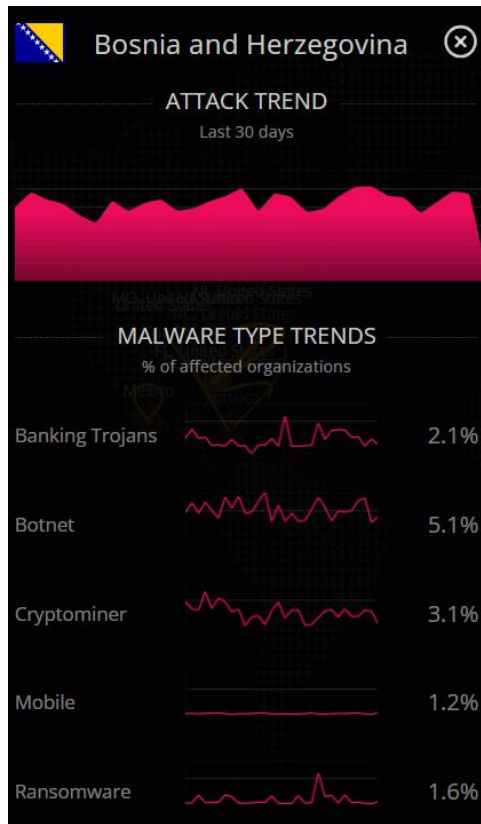
Nadalje potrebno je obratiti pažnju na mrežne napade sa interneta. Obično ova faza bude konačna nakon svih drugih izvršenih pripremnih radnji, osim kod DDoS napada.

Trenutno stanje napada sa izvorom napada, prikazano sa Fortinet opreme.

ATTACK	SEVERITY	LOCATION
MS.IIS.Web.Server.Folder.Traversal.Evasion	Low	 Korea, Repub...
Oracle9i.Default.Configuration.File.Information.Disclosure	Medium	 United States
MS.IIS.Web.Server.Folder.Traversal.Evasion	Low	 Ireland
MS.IIS.Web.Server.Folder.Traversal.Evasion	Low	 United States
MS.IIS.Web.Server.Folder.Traversal.Evasion	Low	 United States
Oracle.Database.PITRIG_DROPMETADATA.Procedure.Buffer.Overflow	Medium	 United States
MS.IIS.Web.Server.Folder.Traversal.Evasion	Low	 United States
MS.IIS.Web.Server.Folder.Traversal.Evasion	Low	 Ireland

Slika 2 Napadi detektovani Fortinet opremom [5]

Prikaz statistike napada putem zaštite mrežne opreme, zaštitnih zidova sa *Checkpoint* zaštitne opreme.



Slika 3 Napadi detektovani checkpoint opremom [6]

Da bi se sprečili upadi u računarsku mrežu potrebno je koristiti sigurnosne protokole i zaštitni zid. Sigurnosni protokoli SSL i IPS, te protokoli za provjeru identiteta smanjuju opseg napada i upada u sistem. Funkcija zaštitnog zida kao mrežne barijere su Filtriranje paketa, Prevođenje mrežnih adresa, te proksi servisi. [1]

Osim navedenog potrebno je periodično testiranje protokola u mreži. Alati koji pomažu u ovom su Hping, Netcat, Nmap. [2]

4. ZAKLJUČAK

Shodno napred navedenom vidljivo je da se periodično pregleda mreža, te prate aktuelnosti novih sigurnosnih propusta. Osim toga potrebno je redovno ažurirati operativne sisteme i mrežne uređaje sa zadnjim sigurnosnim paketima. Segmentacija mreže će smanjiti opseg mogućeg upada u mrežu.

Praćenje novih virusa i novih propusta na operativnim sistemima, te opseg portova na kojima se izvodi napad sa novim zlonamjernim aplikacijama omogućuje prevenciju infekcija i napada kako na mrežu, tako i na računare.

Potrebno je ukoliko je moguće primjeniti vještačku inteligenciju i blockchain tehnologiju u zaštiti računarskih sistema, jer rizici od malicioznih softvera progresivno rastu, kako na teritoriji Bosne i Hercegovine, tako i u svijetu.

REFERENCE

- [1] Dragan Pleskonjić, Nemanja Maček, Borislav Đorđević, Marko Carić, Sigurnost računarskih sistema i mreža, Mikro Knjiga 2007, Beograd;
- [2] James Forshaw, Napadi na mrežne protokole, Mikroknjiga 2018, Beograd;
- [3] Monnappa K. A, Zaštita od zlonamernih programa, Kompjuter biblioteka 2019, Zemun;
- [4] Link statistike Kaspersky Lab-a, <https://cybermap.kaspersky.com/stats>, posjećeno 19.09.2024;
- [5] Link statistike Kaspersky Lab-a, <https://threatmap.fortiguard.com/>, posjećeno 19.09.2024;
- [6] Link statistike checkpoint, <https://threatmap.checkpoint.com/>, posjećeno 19.09.2024.



XVI međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2024

Banja Luka, 27 - 28. 9. 2024. godine



STRUCTURAL-FUNCTIONAL MODELS EFFICIENT TOPOLOGY GENERATION

Leonid Mylnikov¹, Sofija Mylnikova²

¹National Research University «Higher School of Economics», Perm, LAMylnikov@hse.ru

²National Research University of ITMO, St. Petersburg, sofia.mylnikova@mail.ru

Annotation. The article is devoted to the problem of generation of effective configurations of structural-functional models. For this purpose, the EPM notation was used, a system of symbol coding of topologies is proposed, a random search technique allowing to generate a lot of more efficient solutions based on previous variants. The experiment shown in the article shows that each iteration of the algorithm leads to an increase in the efficiency of the set of solutions considered.

Key words: event-driven process methodology, EPM, structural-functional modeling, evaluation of process efficiency, generation of efficient structural-functional models

1. INTRODUCTION

The development of information systems and organization of the information environment to support organizational and business activities is related to processes that take place in organizational systems.

The issues of process activity management undergo transformation from the use of approaches based on the use of expert assessments and concepts (e.g., the concept of AS-IS ->TO-BE, BPM [1] and CMMN [2] methodologies) when selecting ways of their implementation and modernisation to the use of objective assessments of process implementation efficiency. Despite the available opportunities to study structural-functional models using simulation methods (Petri nets [3], BPEL, simulation systems— Simulink, AnyLogic, SciLab, etc.) the issue related to the generation of promising variants of process organisation remains unsolved.

The complexity of preparing such data is that a full-fledged study of efficiency is impossible without creating models, and the number of variants can be large, and the efficiency of processes will depend on both the models themselves (quality of models, algorithmic complexity, implementation of models) and the data they use and the environment in which they operate.

Realisation of a full-fledged model taking into account these factors makes each model unique and its use for other processes is impossible because other processes may have different number of operations, methods used and subject area limitations.

2. METHODOLOGY

If we consider each operation as a function that has an input (S) and an output (R), then this representation is in good agreement with the EPM notation [4]. The notation has a

representation both in the form of a structural-functional model and a symbolic description ($R = V(S, NV)$). The operations that we are considering can be performed in parallel or sequentially. If, at the same time, we assume that all operations communicate with each other via a common NV data bus, then the structural-functional models will take the form shown in Fig.1.

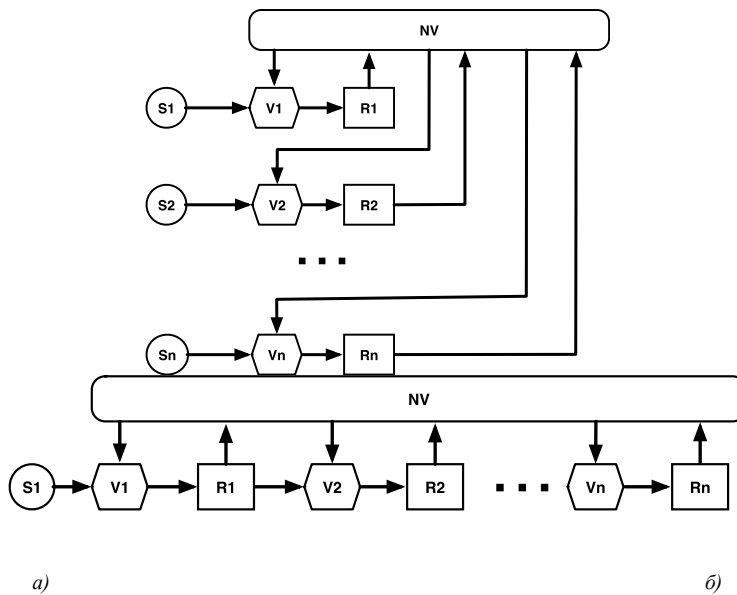


Figure 1. Structural-functional model of n blocks of operations taking necessary data for the work from a common data bus and giving to it results of their work: a) for the case of their parallel work; b) for the case of their sequential work

In the above representation, NV is common to all blocks, so this block can be omitted, and since block V is paired with blocks S and R, the sequence SR can be used to record the operation (for the case in Fig. 1b $S_2 = R_1$, etc). Thus, for the examples shown in Fig. 1, we obtain for Fig 1a: $S_1R_1S_2R_2 \dots S_nR_n$ and for Fig 1b: $S_1S_2 \dots R_{n-1}R_n$.

It can be seen from the above entries that if we omit the indexes, then we have a grammar consisting of two characters S and R that form sequences. If we enter the notation A and B for the correct sequences, then we get the correct sequences from which other correct sequences can be formed based on inductive rules [5]:

- empty sequence (length 0) is correct;
- if A is the correct sequence, then SAR is the correct sequence;
- if A, B are the correct sequences, then their concatenation AB is the correct sequence.

The number of possible combinations of sequences is determined using the formula for calculating the Catalan number: $C_n = \frac{1}{n+1} \binom{2n}{n}$.

In addition, since the operations themselves are not mutually substitutable, the number of possible combinations is supplemented by combinations of indices, which for each case is $n!$ As a result, we obtain the number of options $D_n = C_n \cdot n!$.

Thus, with an increase in the number of action block (n) we observe an increase in the number of options (see Table 1). From the table, we can conclude that the problem cannot be solved in an acceptable time by iteration.

Table 1. Number of combinations for different number of action elements and time required if you assume that the effectiveness of a single combination is evaluated within 1 second.

	Number of operations						
	1	2	3	4	5	10	15
Number of options	1	4	30	336	5040	60949324800	12677700308232960000
Time in minutes	<1	<1	~1	~6	84	1015822080	211295005137216000
Time in days	<1	<1	<1	<1	<1	705432	146732642456400

As we can see from the table, sorting through the options requires a lot of time. Therefore, on the one hand, it would be good to reduce the number of iterated options, and on the other hand, to offer options for analysis that will show high efficiency.

The above system of notation allows to generate new variants from existing sequences if we rely on the following rules:

- any SR sequence can be moved to any other place in the sequence (move operation);
- grammar elements (S and R) themselves can be moved to any place in the sequence (S opening and R opening operations).

Thus, we get a mechanism that allows us to generate new variants based on existing ones, which allows us to implement an algorithm resembling a random search method using genetic operations:

Step 1. Set the number N – the number of simultaneously considered sequence variants, the set of sequences $W_0 = \emptyset$, $j = 0$, n – the number of generated value, m – the number of iterations of the algorithm.

Step 2. Write down the sequence for performing all operations in parallel (Figure 1a) D_1 and all operations in series (Figure 1b) D_2 and save them in multiple sequences $W_j = \{D_1, D_2\}$.

Step 3. $\forall D_i \in W_j$ perform new sequence generation operations.

Step 3.1. Selecting n random sequences of SR and n places to carry them in the original sequence, generate n new sequences.

Step 3.2. Randomly selecting n R and n places to carry this grammar in the source sequence, generate n new sequences.

Step 3.3. Randomly selecting n S and n places to carry this grammar in the source sequence, generate n new sequences.

Step 4. Estimate the efficiency $3n \times \langle \text{number of sequences in } W \rangle$ new generated sequences.

Step 5. Write down the best N variants in a set of sequences U .

Step 6. Compare the obtained efficiency estimates for sequences from U with the efficiency estimates for sequences from W_j and best N solutions from U and W_j save in W_{j+1} , assign $j = j + 1$.

Step 7. If the efficiency of all solutions from U is not better than the efficiency of solutions from W_j or $j \geq m$ then stop the algorithm, otherwise we go to **step 3**.

To assess performance, it is necessary to use performance indicators and evaluate the performance of the option under consideration. As process performance indicators (PPI) use: 1) throughput (number of processed applications/number of work steps); 2) average time of occupancy of each block of operations; 3) probability of downtime for each block of transactions (number of steps idle/number of steps work); 4) average number of requests queued (total number of requests queued during all the work time/number of steps work); 5) average waiting time for the request in queue; 6) average service time for the request; 7) average time of each type of request in the system and some other variants.

3. SOLUTION

To test the algorithm we set its parameters $N = 5$, $n = 10$, $m = 10$ and conduct an experiment in which the efficiency of each block of actions (V or a pair of SR) is assumed to be equal to a constant (e.g., one) regardless of the flow of requests. In this case, the overall efficiency will be proportional to the efficiency of the longest chain of consecutive actions. Then the work of the algorithm can be confirmed by looking at the variants that fall into the solution sets. The number of solutions with short paths should increase in this set.

During the experiment, we obtain the following change in the set of solutions and efficiency shown in Table 2.

Table 2. Examples of topology obtained from different iterations of the algorithm.

Solutions	Effectiveness evaluation (model operating time)
W_0	
S1R1S2R2S3R3S4R4S5R5S6R6S7R7S8R8S9R9S10R10	1
S1S2S3S4S5S6S7S8S9S10R1R2R3R4R5R6R7R8R9R10	10
W_4	
S1R1S2R2S3R3S4R4S5R5S6R6S7R7S8R8S9R9S10R10	1
S1S2S8R1S3S4S6S7R7S9R8S10R2S5R3R4R6R9R10R5	6
S1S2R1S3S4R5S6S7R7S8S9S10R2R3R4R6R8R9S5R10	6
S1S2R1S3S4R5S6S7R7S8S9S10R2R3R4R6R8R9S5R10	6
S1S2R1S3S4R5S6S7R7S8S9S10R2R3R4R6R8R9S5R10	6
W_7	
S1R1S2R2S3R3S4R4S5R5S6R6S7R7S8R8S9R9S10R10	1
S6S2R1S3S4R5S7R7S8R6S9S10R2R3R4R8R9S5R10S1	4
S9S2R1S3S4R5S6R9S7R7S8S10R2R3R4R6R8S5R10S1	4
S9S2R1S3S4R5S6R9S7R7S8S10R2R3R4R6R8S5R10S1	4
S9S2R1S3S4R5S6R9S7R7S8S10R2R3R4R6R8S5R10S1	4
W_{10}	
S1R1S2R2S3R3S4R4S5R5S6R6S7R7S8R8S9R9S10R10	1
S9S3R1S4R5S6R9S7R7S8R3S10R2S2R4R6R8S5R10S1	2
S9S3S2R1S4R5S6R9S7R7S8R3S10R2R4R6R8S5R10S1	3
S9S3S2R1S4R5S6R9S7R7S8R3S10R2R4R6R8S5R10S1	3
S9S3S2R1S4R5S6R9S7R7S8R3S10R2R4R6R8S5R10S1	3

During repeated experiments, the pattern associated with increasing efficiency is repeated, which confirms the operation of the algorithm.

It may seem that from the point of view of efficiency, all tasks should always be performed in parallel. However, in practice, we may encounter limitations when some operations can be performed strictly after others (hard-coded sequences), the efficiency of blocks does not change linearly with load changes, the results of some operations are used by others and they will affect the decisions made by other blocks and the efficiency as a whole depending on the sequence. For example, planning tasks require data on the needs and condition of the warehouse and answer the question of what would be more effective to first place an order for an existing plan or build a plan for the existing condition of the warehouse or build a plan for existing production capabilities, and then solve the procurement problem is not easy.

Evaluation of the effectiveness of processes can take place with the specified parameters. For this, it is necessary to set the principles of operation of the S blocks (for example, the sequence of incoming requests, their frequency or probability), if you do not implement each of the operations using a separate algorithm, then you need to set their computational complexity (this will allow you to take into account the time of the operation when evaluating the effectiveness, but not the impact of data changes environment (parameter values) on the results of the work).

If we consider a process in which some of the operations are performed periodically and we can control these periods (set the laws of change for S), then the task of finding a configuration can be supplemented with options for S. As a result, the number of options for analysis will increase even more.

4. CONCLUSION

The paper proposes an algorithm that allows you to find effective configurations of structural-functional models without a complete search of possible options, which allows you to set large tasks and explore processes in interconnection.

In practice, we are faced with many processes that take place within the same organizational system. The results of some processes can affect the efficiency of other processes. Thus, by combining multiple operations for different processes, we can consider process activity as a mega-process describing the entire activity of the organizational system in question.

The paper assumes that each operation is performed once. In practice, the features of some processes or limitations of subject areas, on the one hand, may rigidly fix some sequences, on the other hand, there may be multiple use of some operations or their repetition in case of improper execution, as well as when processing different types of requests/ requests that require different processing time or can only be processed with restrictions in quantity or combination with other types of requests. It is possible that the same blocks of operations are used by different processes (subprocesses).

These situations require additional research and new ways of formalizing them.

Acknowledges

The study was supported by the Government of the Perm krai, project no. C-26/692.

References

- [1] Estruch A., Heredia Á.J.A. Event-driven manufacturing process management approach // Business Process Management: 10th International Conference (BPM 2012), Tallinn, Estonia, September 3-6, 2012. Berlin, Heidelberg: Springer, 2012. C. 120–133.
- [2] Routis I. и др. CMMN evaluation: the modelers' perceptions of the main notation elements // Softw. Syst. Model. 2021. Т. 20, № 6. С. 2089–2109.
- [3] Peterson J. Petri nets theory and the modeling of systems. The University of Texas at Austin, Prentice-Hall, 1981.
- [4] Mylnikov L.A., Saltykova A.D., Avramovich Z. Event-Driven Process Methodology Notation for Information Processing Research // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. 2024. vol. 58, no 4. p. 243-254.
- [5] Вялый М.Н. и др. Лекции по дискретной математике. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2021. 496 с.



XVI međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITEO 2024

Banja Luka, 27 - 28. 9. 2024. godine



EFIKASNOST STATIČKE ANALIZE KODA U SMANJENJU TEHNIČKOG DUGA

Pero Ranilović, Dražen Marinković

Panevropski univerzitet „APEIRON“, Banja Luka, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina
{pero.d.ranilovic, drazen.m.marinkovic }@apeiron-edu.eu

Abstrakt - Tehnički dug predstavlja značajan izazov u razvoju softvera, naročito u kompleksnim projektima kao što su oni zasnovani na .NET platformi. Ovaj rad istražuje ulogu statičke analize koda u smanjenju tehničkog duga, kroz upotrebu alata kao što su SonarQube, ReSharper, i Roslyn Analyzers. Statička analiza omogućava kontinuirano praćenje kvaliteta koda i pomaže u identifikaciji problema kao što su dupliranje koda, složenost funkcija, loše upravljanje resursima i sigurnosne ranjivosti. Kroz detaljan pregled primjene alata u .NET projektima, prikazano je kako statička analiza može značajno smanjiti tehnički dug, poboljšati održivost koda i optimizovati performanse aplikacija.

Ključne riječi – statička analiza koda, tehnički dug, .NET, SonarQube

1. UVOD

U savremenom razvoju softvera, brza isporuka funkcionalnosti postala je ključni faktor uspjeha u konkurentnom tržištu. Timovi se često suočavaju s pritiskom da ubrzaju isporuku rješenja, što dovodi do donošenja kompromisnih odluka tokom razvoja. Ove odluke, iako omogućavaju bržu isporuku, mogu ostaviti posljedice na dugoročni kvalitet softverskog koda i arhitekture, stvarajući ono što se u industriji naziva tehničkim dugom. Tehnički dug, takođe poznat kao dug koda ili dug dizajna, je termin koji se koristi u razvoju softvera da bi se opisao trošak dodatnog prepravljavanja uzrokovanog prvobitnim odabirom brže isporuke u odnosu na čist, efikasan kod koji bi trajao duže. Tehnički dug se odnosi na akumulaciju problema u kodu koji nisu odmah riješeni, kao što su loša struktura, neoptimalni algoritmi, nedovoljno testiranje i loša dokumentacija. Ako se ovi problemi ne rješavaju pravovremeno, oni mogu otežati održavanje, produžiti razvoj novih funkcionalnosti, i povećati rizik od grešaka i sigurnosnih propusta. Uvođenjem alata za statičku analizu koda, moguće je efikasno identifikovati i adresirati probleme u ranim fazama razvoja, pre nego što eskaliraju u veći tehnički dug. Statička analiza se odnosi na pregled koda bez njegovog izvršavanja, pri čemu se koriste različiti algoritmi i pravila za otkrivanje grešaka, loših obrazaca i neoptimalnih praksi u pisanju koda. Kroz kontinuiranu upotrebu ovih alata, moguće je smanjiti složenost koda, poboljšati performanse i održivost sistema, kao i smanjiti dugoročne troškove vezane za refaktorisanje i održavanje softvera. Ovaj rad istražuje kako statička analiza doprinosi smanjenju tehničkog duga u .NET projektima, analizirajući ulogu i efikasnost popularnih alata za statičku analizu kao što su SonarQube, ReSharper i Roslyn Analyzers. Takođe, prikazuju se konkretni primjeri gdje je upotreba statičke analize pomogla u identifikaciji problema i kako je to direktno uticalo na održivost koda i efikasnost timova u razvoju softvera.

2. STATIČKA ANALIZA KODA

Statička analiza koda predstavlja tehniku za analizu softverskog koda bez njegovog izvršavanja. Ova analiza se vrši kako bi se automatski otkrili potencijalni problemi u kodu, kao što su greške, sigurnosni propusti, loši obrasci pisanja koda, neefikasne prakse, kao i nepoštovanje definisanih standarda kodiranja. Statička analiza se često koristi u ranim fazama razvoja softvera, omogućavajući programerima da identifikuju i otklone probleme pre nego što kod bude pokrenut, testiran ili distribuiran korisnicima.

Alati za statičku analizu koda, kao što su **SonarQube**, **ReSharper**, **StyleCop**, i **Roslyn Analyzers**, omogućavaju developerima da automatski pregledaju i ocjenjuju kvalitet koda. Ovi alati koriste unaprijed definisane skupove pravila koja pokrivaju različite aspekte razvoja softvera, kao što su pravilna upotreba resursa, stil kodiranja, sigurnost, optimizacija performansi, i pravilna organizacija logike unutar aplikacije.

Primarna prednost statičke analize koda je to što omogućava rano otkrivanje problema, čime se smanjuju troškovi njihovog ispravljanja i potencijalna šteta kasnije u procesu razvoja. Statička analiza može pomoći u identifikaciji problema kao što su:

- **Sintaksne greške** koje nisu uhvaćene u kompajlerskim provjerama.
- **Neoptimalna upotreba memorije i resursa**, kao što su curenja memorije.
- **Sigurnosni propusti** poput SQL injekcija ili Cross-Site Scripting (XSS) ranjivosti.
- **Dupliranje koda i kompleksni obrasci** koji mogu otežati održavanje koda.

Kao dodatak tome, statička analiza može pomoći timovima da prate **kodne standarde** unutar organizacije, osiguravajući dosljednost i čitljivost koda. U kombinaciji sa drugim tehnikama, poput **dinamičke analize** i **unit testiranja**, statička analiza doprinosi povećanju kvaliteta koda i smanjenju rizika od bugova i tehničkog duga u softverskim projektima.

3. ULOGA STATIČKE ANALIZE U PREPOZNAVANJU LOŠIH OBRAZACA U KODU

Statička analiza koda igra ključnu ulogu u prepoznavanju i ispravljanju loših obrazaca u kodu, čime značajno doprinosi unapređenju kvaliteta softverskih rješenja. Korišćenjem alata za statičku analizu, programeri mogu brzo identifikovati različite vrste problema koji mogu uticati na dugoročnu održivost i efikasnost softvera.

3.1. Dupliranje koda

Jedan od najčešćih loših obrazaca je **dupliranje koda**. Kada se kod ili logika nepotrebno kopiraju na više mesta, to stvara problem prilikom održavanja, jer svaka izmjena zahtijeva prilagođavanje na više lokacija. Alati za statičku analizu, poput SonarQube-a ili ReSharpera, detektuju ovakve slučajeve dupliranja i predlažu refaktorisane kako bi se eliminisali suvišni dijelovi i kod postao održiviji. Na primjer, ovi alati će preporučiti izdvajanje duplirane logike u zajedničku funkciju ili metodu.

3.2. Kompleksan kod

Kod koji je previše složen ili teško razumljiv može dovesti do problema u kasnijim fazama razvoja. Statička analiza pomaže u identifikaciji prekomjerne složenosti koda tako što analizira metrike poput **ciklomatske kompleksnosti** (broj različitih putanja koje mogu proći kroz određeni dio koda). Alati kao što su ReSharper i StyleCop mogu ukazati na prekomjerno složene funkcije ili metode i sugerisati načine za njihovo pojednostavljivanje, što omogućava lakše testiranje, razumijevanje i održavanje.

3.3. Loša imena promjenljivih i funkcija

Jasna i konzistentna imena promjenljivih, funkcija i klasa ključna su za čitljivost i održivost koda. Statička analiza pomaže u detekciji loše imenovanih entiteta, kao što su prekratka ili previše generička imena promjenljivih (npr. `x`, `temp`) ili funkcije koje ne opisuju jasno svoju namjenu. Korišćenjem alata poput Roslyn analizatora, programeri mogu postaviti pravila koja automatski ukazuju na neadekvatna imena i predlažu poboljšanja prema standardima kodiranja.

3.4. Loše upravljanje resursima

Neppravilno upravljanje resursima, poput memorije ili konekcija prema bazama podataka, može dovesti do curenja memorije ili zaključanih resursa, što može ozbiljno uticati na performanse aplikacije. Statička analiza koda može detektovati ove loše prakse, kao što je zaboravljanje zatvaranja datoteka ili baza podataka nakon korišćenja, i preporučiti efikasnije načine za upravljanje resursima, poput korišćenja **using** bloka u C# za automatsko oslobađanje resursa.

3.5. Neefikasni algoritmi

Algoritmi sa lošim performansama mogu usporiti rad aplikacije, posebno kada se primjenjuju na velikim skupovima podataka. Statička analiza pomaže u identifikaciji algoritama koji imaju visoku složenost i mogu izazvati probleme sa performansama. Na primjer, alati za statičku analizu mogu identifikovati pretjerano korišćenje petlji unutar petlji (npr. $O(n^2)$ ili *gore*), što može biti neefikasno, i predložiti optimizaciju kroz bolji algoritamski pristup ili korišćenje efikasnijih struktura podataka.

4. UTICAJ TEHNIČKOG DUGA NA RAZVOJ SOFTVERA

Tehnički dug predstavlja akumulaciju kompromisa u kvalitetu koda, dizajna i arhitekture, koji su napravljeni tokom razvoja softvera kako bi se ubrzala isporuka funkcionalnosti. Ovaj dug, ukoliko se ne rješava na vrijeme, može značajno usporiti budući razvoj softvera, povećati troškove održavanja i otežati otklanjanje grešaka. Štaviše, tehnički dug može uvesti ozbiljne sigurnosne rizike, čineći sistem ranjivim na napade i greške.

4.1. Usporavanje budućeg razvoja

Kada se tehnički dug gomila, softver postaje složeniji i teži za razumijevanje. Novi programeri u timu ili čak i oni koji su već radili na projektu mogu imati poteškoće u navigaciji kroz složen i loše organizovan kod. Tehnički dug povećava vrijeme potrebno za uvođenje novih funkcionalnosti, jer svaka izmjena može zahtijevati dublje analize kako bi se izbjegle nepredviđene greške. To znači da se razvoj novih funkcionalnosti usporava, što negativno utiče na produktivnost i efikasnost tima.

4.2. Povećani troškovi održavanja

Održavanje softvera sa visokim tehničkim dugom je značajno skuplje. Svaka greška u softveru može biti teža za identifikovanje i ispravku jer loš kod ili neadekvatna arhitektura otežavaju preglednost i razumijevanje sistema. Takođe, visoka složenost i dupliranje koda mogu zahtijevati mnogo više rada i vremena za ispravke, što rezultuje višim troškovima održavanja. Ako se tehnički dug ne adresira, troškovi refaktorisanja i održavanja mogu nadmašiti korist koju brže isporučivanje softverskih rješenja pruža u kratkom roku.

4.3. Otežane ispravke grešaka

Kada tehnički dug naraste, ispravka grešaka postaje složenija jer neuredan i loše organizovan kod otežava identifikaciju izvora problema. Na primjer, ako je kod previše kompleksan ili dupliran, ispravljanje greške na jednom mjestu može izazvati neželjene posljedice na drugom mjestu u kodu. Refaktorisanje naslijeđenog koda sa visokim tehničkim dugom često zahtijeva temeljnu analizu, koja zahtijeva dodatno vrijeme i resurse.

4.4. Uvođenje sigurnosnih rizika

Loše kodne prakse koje doprinose tehničkom dugu često uključuju neadekvatnu provjeru sigurnosti, nepravilno upravljanje resursima ili korišćenje zastarijelih tehnologija. Ove greške čine softver podložnijim napadima i ranjivostima. Na primjer, kod sa nedovoljno pažnje posvećene sigurnosnim praksama može biti podložan SQL injekcijama, XSS napadima, ili drugim sigurnosnim propustima. Što je veći tehnički dug, to je veća vjerovatnoća da će sigurnosne ranjivosti ostati neotkrivene, što povećava rizik za korisnike i organizaciju.

4.5. Primjeri gdje se tehnički dug nakuplja

- **Migracije na novije verzije .NET platforme:** Kada se softverski projekti razvijaju na starijim verzijama .NET platforme, migracija na novije verzije može biti komplikovana zbog nakupljenog tehničkog duga. Na primjer, ukoliko je kod napisan koristeći zastarjele API-je ili loše strukture, prelazak na modernije verzije zahtijeva značajan refaktoring. Ovo može uključivati prepisivanje velikih dijelova koda i suočavanje sa kompatibilnošću između starih i novih tehnologija.
- **Refaktorisanje naslijeđenog koda:** Naslijeđeni kod često dolazi sa visokim tehničkim dugom, posebno ako je pisan bez striktnih pravila kodiranja ili standarda. Refaktorisanje takvog koda je izazovno, jer svaki pokušaj promjene nosi rizik od uvođenja novih grešaka. Štaviše, bez odgovarajućih testova, promjene se teško provjeravaju, što dodatno komplikuje proces.
- **Brze iteracije u Agile okruženju:** U Agile metodologiji, gdje se fokus stavlja na brze isporuke funkcionalnosti kroz česte iteracije, tehnički dug se može brzo akumulirati ako tim ne posveti dovoljno pažnje kvalitetu koda. Pritisak za brzim isporukama često dovodi do zaobilazanja standarda kodiranja, što dugoročno komplikuje održavanje i proširivanje aplikacija.

5. KAKO STATIČKA ANALIZA SMANJUJE TEHNIČKI DUG

Statička analiza koda je ključni alat u procesu smanjenja tehničkog duga, jer omogućava otkrivanje potencijalnih problema u kodu prije nego što postanu ozbiljni izazovi. Kroz različite mehanizme, statička analiza omogućava kontinuirano praćenje kvaliteta koda i osigurava dosljedno pridržavanje standarda kodiranja, čime se održava visoka održivost i efikasnost softverskih rješenja.

5.1. Kontinuirano praćenje kvaliteta koda

Jedan od najvažnijih aspekata statičke analize je mogućnost **kontinuiranog praćenja kvaliteta koda**. Kada se alati za statičku analizu integrišu u razvojne alate ili CI/CD pipeline, svaki put kada se kod mijenja ili nadograđuje, automatski se vrši analiza. Ova analiza omogućava da se odmah otkriju potencijalni problemi, kao što su složen kod, dupliranje koda, ili sigurnosni propusti. Korišćenjem ovog pristupa, programeri mogu brzo reagovati i riješiti identifikovane probleme, prije nego što ti problemi postanu dio tehničkog duga.

5.2. Primjena standarda kodiranja

Standardizacija kodiranja igra ključnu ulogu u smanjenju tehničkog duga. Alati za statičku analizu omogućavaju timovima da postave i prate pravila kodiranja koja promovišu konzistentnost i čitljivost koda. Na primjer, uvođenje pravila koja se odnose na pravilno imenovanje promjenljivih, modularizaciju koda i strukturiranje datoteka olakšava razumijevanje i održavanje koda. Kada se standardi dosljedno primjenjuju, smanjuju se šanse za nakupljanje loših obrazaca koji bi kasnije postali tehnički dug.

5.3. Otkrivanje loših obrazaca i optimizacija

Jedna od glavnih prednosti statičke analize je njena sposobnost da **otkriva loše obrasce u kodu**, kao što su složeni algoritmi, neoptimalno korišćenje resursa ili nepotrebne petlje. Alati kao što su SonarQube, ReSharper ili Roslyn automatski analiziraju kod i nude predloge za optimizaciju. Na primjer, ako alat otkrije da funkcija ima visoku ciklomatsku kompleksnost, predložiće refaktorisanje te funkcije kako bi bila jednostavnija i lakša za održavanje. Ovo direktno smanjuje tehnički dug jer se dugoročno smanjuje složenost koda i povećava njegova održivost.

5.4. Automatske ispravke i preporuke

Osim detekcije problema, neki alati za statičku analizu, kao što je ReSharper, nude mogućnost **automatskog ispravljanja grešaka** ili optimizacije koda. Kada alat prepozna dupliranje koda, složene petlje ili loše imenovanje promjenljivih, automatski nudi preporuke za ispravke koje programeri mogu brzo implementirati. Ove automatske ispravke omogućavaju brzu reakciju na potencijalne tehničke dugove, čime se smanjuje vrijeme potrebno za ručno otklanjanje problema i povećava efikasnost u razvoju.

5.5. Preventivno upravljanje tehničkim dugom

Preventivno upravljanje tehničkim dugom pomoću statičke analize omogućava timovima da prepoznaju i riješe probleme prije nego što postanu preveliki za upravljanje. Umjesto da se tehnički dug gomila tokom razvoja, redovna analiza koda omogućava da se on pravovremeno

smanjuje, što rezultira održivijim softverom i smanjenim troškovima održavanja na duge staze. Kada se statička analiza koristi kontinuirano, tehnički dug postaje vidljiv i lako upravljiv prije nego što ugrozi budući razvoj projekta.

6. UPOTREBA ALATA U .NET PROJEKTIMA

U .NET okruženju, postoji nekoliko moćnih alata za statičku analizu koda koji omogućavaju programerima da unaprijede kvalitetu koda, smanje tehnički dug i osiguraju dugoročnu održivost svojih projekata. Ovi alati igraju ključnu ulogu u identifikaciji problema u ranim fazama razvoja, čime se omogućava brza reakcija i prevencija nakupljanja tehničkog duga. Pregledaćemo nekoliko najpopularnijih alata za statičku analizu u .NET projektima.

6.1. SonarQube

SonarQube je jedan od najpoznatijih alata za kontinuiranu inspekciju koda, koji se često koristi u .NET projektima. Ovaj alat automatski analizira kod i identifikuje probleme kao što su dupliranje koda, loši obrasci, sigurnosni propusti i nepoštovanje kodnih standarda. SonarQube pruža vizuelne izvještaje koji programerima omogućavaju da brzo prepoznaju kritične oblasti u kodu koje treba unaprijediti. Njegova integracija u alate za kontinuiranu integraciju (CI) omogućava stalno praćenje kvaliteta koda tokom cijelog životnog ciklusa projekta. SonarQube nudi prijedloge za optimizaciju i poboljšanja, a uz to podržava više jezika, uključujući C#, što ga čini veoma korisnim za .NET projekte.

6.2. Roslyn Analyzers

Roslyn Analyzers su alatke ugrađene unutar **Visual Studio** razvojnog okruženja koje omogućavaju analizu koda tokom razvoja. Ovaj alat se koristi za detekciju loših obrazaca i nepoštovanja pravila kodiranja, kao i za kreiranje prilagođenih pravila specifičnih za određene projekte ili timove. Roslyn Analyzers omogućava programerima da definišu pravila kodiranja i automatski prate njihovo sprovođenje, što značajno pomaže u smanjenju tehničkog duga. Integrisan u Visual Studio, Roslyn Analyzers radi u realnom vremenu, pružajući povratne informacije tokom pisanja koda, čime se osigurava da standardi kodiranja budu poštovani od samog početka.

6.3. ReSharper

ReSharper je još jedan popularan alat za statičku analizu koda u .NET okruženju. Koristi se pretežno za **refaktorisanje** i poboljšanje koda, omogućavajući programerima da brzo identifikuju i isprave složene strukture i neoptimalne algoritme. ReSharper automatski predlaže ispravke za loše kodne prakse, kao što su dupliranje koda ili loša imenovanja, i nudi prijedloge za poboljšanje performansi. Ovaj alat takođe pomaže u smanjenju tehničkog duga pružanjem jednostavnih načina za refaktorisanje koda, što olakšava održavanje i proširenje softvera bez potrebe za ručnim ispravkama.

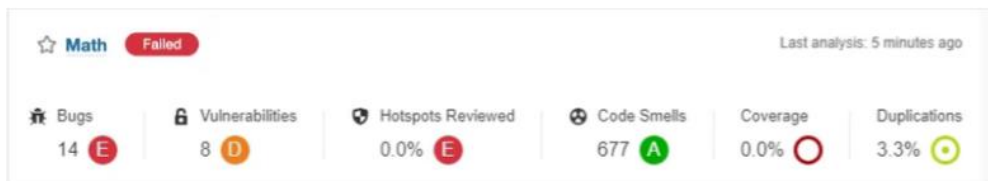
6.4. Primjena u CI/CD okruženju

Statička analiza je posebno korisna kada se integriše u alate za kontinuiranu integraciju i isporuku (CI/CD). Integracijom alata kao što su SonarQube ili Roslyn Analyzers u CI/CD pipeline, svaki commit može biti automatski analiziran prije nego što bude spojen sa glavnim projektom. Ovaj pristup omogućava rano otkrivanje tehničkog duga i trenutnu reakciju na

probleme u kodu. Na primjer, ukoliko se identifikuje dupliranje koda ili složeni algoritmi, tim može odmah intervenirati i primijeniti optimizacije prije nego što kod bude dalje razvijan. Time se tehnički dug proaktivno smanjuje, a kvalitet koda ostaje na visokom nivou.

7. SMANJENJE TEHNIČKOG DUGA POMOĆU STATIČKE ANALIZE U REALNOM .NET PROJEKTU

Pomoću SonarQube alata, otkriveno je da postoji **dupliranje koda** u više modula aplikacije. Na Slici 1. je prikazana tačna analiza dobijenih rezultata, gdje pored svake kategorije imamo i slovnu oznaku. Na osnovu analize tehničkog duga, **SonarQube** dodjeljuje slovnu ocjenu održivosti projekta, koja predstavlja ukupnu procijenu kvaliteta i održivosti koda na osnovu tehničkog duga. Ocjene se kreću od **A** (najbolja ocena) do **E** (najgora ocena), i zasnivaju se na procijenjenom procentu vremena potrebnog za refaktorisanje i smanjenje tehničkog duga u odnosu na ukupno vrijeme potrebno za razvoj projekta.



Slika 4. Prikaz rezultata statičke analize pomoću SonarQube alata

SonarQube koristi sljedeću skalu za ocjenjivanje:

```
public void RegisterUser(string username, string email)
{
    if (string.IsNullOrEmpty(username))
    {
        throw new ArgumentException("Username cannot be empty");
    }
    if (!IsValidEmail(email))
    {
        throw new ArgumentException("Invalid email address");
    }
}

0 references
public void UpdateUser(string username, string email)
{
    if (string.IsNullOrEmpty(username))
    {
        throw new ArgumentException("Username cannot be empty");
    }
    if (!IsValidEmail(email))
    {
        throw new ArgumentException("Invalid email address");
    }
}

2 references
private bool IsValidEmail(string email)
{
    return email.Contains("@");
}
```

Slika 5. Prikaz dupliranog koda

A: Tehnički dug je manji od **5%**. Ova ocjena ukazuje na to da je projekt visokog kvaliteta sa minimalnim problemima koji utiču na održavanje i razvoj.

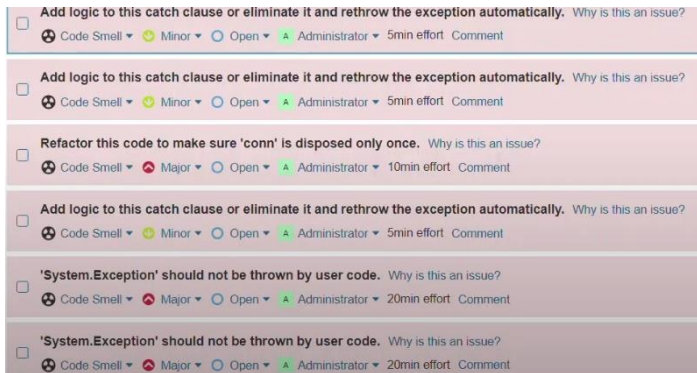
B: Tehnički dug je između **6% i 10%**. Projekt pokazuje umjerenu količinu tehničkog duga koji treba adresirati, ali generalno ne predstavlja ozbiljan problem.

C: Tehnički dug je između **11% i 20%**. Ova ocjena znači da postoji značajan tehnički dug koji može usporiti budući razvoj i povećati troškove održavanja.

D: Tehnički dug je između **21% i 50%**. Projekat sa ovom ocjenom zahtijeva ozbiljne intervencije u pogledu refaktorisanja kako bi se održao kvalitet i smanjili rizici.

E: Tehnički dug je veći od **50%**. Ova ocjena ukazuje na to da je kod u veoma lošem stanju i da tehnički dug

ozbiljno ugrožava SonarQube automatski prepoznaje **dupliranje koda** i označava ga kao problem tehničkog duga.



Slika 6. Prikaz problema sa procjenjenim vremenom rješavanja

Svaki problem koji SonarQube detektuje dolazi sa slovnom oznakom i procjenom vremena potrebnog da se ispravi. Ova procjena vremena, poznata kao **effort**, prikazuje koliko bi vremena programeri trebali da ulože da bi ispravili detektovani problem. Za dupliranje koda, effort se odnosi na vrijeme potrebno da se duplirani dijelovi refaktorišu i centralizuju u zajedničku metodu ili komponentu. SonarQube je detektovao problem sa **upravljanjem resursima** – konekcije prema bazi podataka nisu bile pravilno zatvorene nakon korišćenja. Ova praksa je dovela do curenja memorije i degradacije performansi aplikacije. Implementacija `using` blokova u `C#` je omogućila automatsko oslobađanje resursa nakon njihove upotrebe. Umjesto ručnog zatvaranja konekcija, korišćenje `using` blokova je obezbijedilo sigurnije i efikasnije upravljanje resursima.

Analizom je identifikovano da se na nekoliko mjesta u kodu ne poštuju standardi kodiranja. To uključuje loše imenovanje promjenljivih i metoda, poput generičkih imena `temp`, `data`, ili `result`, što je otežavalo razumijevanje i održavanje koda. Refaktorisanje koda je omogućilo primjenu standardizovanih imena koja jasno opisuju svrhu promjenljivih i metoda. Na primjer, `temp` je preimenovan u `calculatedTotal`, čime je kod postao čitljiviji i konzistentniji.

Nakon implementacije predloženih rješenja, tehnički dug u aplikaciji je značajno smanjen. Duplirani kod je uspješno eliminisan, čime je olakšano održavanje i smanjen rizik od grešaka. Optimizacija upravljanja resursima pomoću `using` blokova poboljšala je performanse aplikacije i eliminisala probleme sa curenjem memorije. Standardizacija imena promenljivih i metoda omogućila je jasniju strukturu koda, što je povećalo njegovu čitljivost i olakšalo razumijevanje za nove članove tima.

8. ZAKLJUČAK

U ovom radu detaljno je analizirana primjena statičke analize u smanjenju tehničkog duga u realnim `.NET` projektima. Alati poput SonarQube, ReSharper i Roslyn Analyzers omogućili su identifikaciju ključnih problema, kao što su dupliranje koda, složene funkcije, loše upravljanje

resursima i nepridržavanje standarda kodiranja. Korišćenjem ovih alata, tehnički dug je značajno smanjen kroz refaktorisanje, optimizaciju koda i automatsko ispravljanje grešaka. Kontinuirana primena statičke analize u CI/CD okruženju omogućava timovima da proaktivno rješavaju probleme prije nego što eskaliraju, smanjujući dugoročne troškove održavanja i poboljšavajući kvalitet i sigurnost softverskih rješenja. Ovi alati su ključni za postizanje dugoročne održivosti i skalabilnosti softverskih projekata.

Literatura

- [1] N. Moller and M. I. Schwartzbach, "Static Program Analysis," Cambridge University Press, 2019.
- [2] M. Fowler, "Refactoring: Improving the Design of Existing Code," Addison-Wesley, 2018.
- [3] N. Venkatesan, "Continuous Code Quality: Integrating Automated Static Analysis into DevOps Pipeline," O'Reilly Media, 2021.
- [4] Microsoft, "Roslyn .NET Compiler Platform SDK Documentation," [Na mreži]. Available: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/roslyn/>. [Poslednji pristup: 25. 8. 2024].
- [5] SonarSource, "SonarQube," [Na mreži]. Available: <https://www.sonarqube.org/>. [Poslednji pristup: 28. 8. 2024].
- [6] SonarSource, "SonarQube Documentation," [Na mreži]. Available: <https://docs.sonarqube.org/>. [Poslednji pristup: 1. 9. 2024].



XVI međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2024

Banja Luka, 27 - 28. 9. 2024. godine



DIGITALNA FORENZIKA U MEDICINI: RIZICI VEZANI ZA ZAŠTITU LIČNIH I MEDICINSKIH PODATAKA PACIJENATA

Igor Dugonjić

Univerzitetski klinički centar Republike Srpske, igorrdugonjic@gmail.com

Jovo Marković

Ministarsvo unutrašnjih poslova Republike Srpske, jovo.markovic@gmail.com

Mirko Sajić

Nezavisni univerzitet u Banjaluci, mirko.sajic@gmail.com

Sažetak: Digitalna forenzika predstavlja ključnu granu forenzike koja se fokusira na analizu i istraživanje digitalnih uređaja i podataka. U medicinskoj oblasti, digitalna forenzika ima posebno važnu ulogu u zaštiti podataka pacijenata, analizi medicinskih uređaja, istraživanju prevara i osiguranju etičkog ponašanja zdravstvenih radnika. Ovaj rad istražuje različite aspekte digitalne forenzike, alate koji se koriste, vrste napada i mjere zaštite koje se primjenjuju za očuvanje integriteta i sigurnosti podataka. Kroz analizu savremenih tehnologija, rad pruža uvid u način na koji se digitalna forenzika može implementirati u cilju zaštite pacijenata i osiguranja sigurnog zdravstvenog sistema.

Ključne riječi: Digitalna forenzika, Podaci o pacijentima, Digitalna bezbjednost

1. UVOD

Digitalna forenzika se definiše kao proces prikupljanja, očuvanja, analize i prezentacije digitalnih informacija koje mogu poslužiti kao dokazi u pravnim postupcima [1]. U eri digitalizacije, medicinski sektor postaje sve više zavisan od tehnologije, što otvara vrata raznim sigurnosnim rizicima [2]. Krađa identiteta, prevara u zdravstvenim osiguranjima, cyber napadi i druge ilegalne aktivnosti postaju sve češći problemi s kojima se suočavaju zdravstvene institucije [3]. Stoga je digitalna forenzika ključna za istraživanje ovih incidenata i osiguranje pravne odgovornosti. Ovaj rad obrađuje načine na koje se digitalna forenzika primenjuje u medicini, identifikuje alate i tehnike, istražuje vrste napada i predlože mjere zaštite koje mogu poboljšati sigurnost podataka pacijenata.

2. DIGITALNA FORENZIKA I NJENI ALATI

Digitalna forenzika se oslanja na niz specijalizovanih alata koji omogućavaju efikasnu analizu i prikupljanje podataka. Među najčešće korišćenim alatima su: **EnCase** (alat za analizu hard diska i prikupljanje dokaza), **FTK** (*Forensic Toolkit* - omogućava oporavak datoteka i pretragu kroz velike količine informacija [4]), **Autopsy** (otvoreni softver za forenzičku analizu sa različitim modulima), **Sleuth Kit** (pomaže u analizi datotečnih sistema), **Cellebrite** (specijalizovan za analizu mobilnih uređaja) [5]. Ovi alati pomažu forenzičarima da osiguraju integritet podataka

tokom analize i da identifikuju relevantne informacije koje mogu poslužiti kao dokazi u pravnim postupcima.

3. PRIMJENE DIGITALNE FORENZIKE U MEDICINI

Digitalna forenzika u medicini predstavlja ključni alat u očuvanju integriteta i sigurnosti zdravstvene prakse. U savremenom zdravstvenom sistemu, gdje su podaci o pacijentima od suštinske važnosti, zaštita tih informacija postaje imperativ. Kroz istraživanje incidenata vezanih uz krađu identiteta i neovlašćeni pristup, digitalna forenzika pomaže u otkrivanju i prevenciji potencijalnih prijetnji koje bi mogle ugroziti privatnost pacijenata [6].

Osim toga, analiza medicinskih uređaja postaje sve važnija s obzirom na sveprisutnost povezanih tehnologija u medicini. Ova disciplina omogućava procjenu sigurnosti uređaja kao što su pejsmejkeri i inzulinske pumpe, osiguravajući da su oni zaštićeni od potencijalnih *cyber* napada i neautorizovanog pristupa [7]. Na taj način, digitalna forenzika ne samo da štiti pacijente, već i osigurava funkcionalnost kritičnih medicinskih uređaja.

U okviru borbe protiv prevara, digitalna forenzika igra ključnu ulogu u otkrivanju lažnog izvještavanja o medicinskim uslugama i zloupotrebi resursa. Ova analiza omogućava zdravstvenim institucijama da identifikuju i spreče sumnjive aktivnosti, čime se čuva integritet zdravstvenog sistema i osigurava pravičnost u pružanju usluga [8].

Takođe, istraživanje sukoba interesa i etičkih prekršaja među zdravstvenim radnicima od esencijalne je važnosti. Kroz digitalnu forenziku, moguće je otkriti i analizirati potencijalne etičke povrede, čime se doprinosi održavanju visoko profesionalnog standarda unutar zdravstvene zajednice [1].

Na kraju, evidencija i dokumentacija medicinskih zapisa postaje vitalna, posebno u kontekstu pravnih postupaka. Očuvanje i analiza ovih zapisa, uz pomoć digitalne forenzike, omogućava transparentnost i tačnost podataka, što može biti ključno u slučajevima sporova ili medicinskih tužbi [2].

Kao rezultat, digitalna forenzika u medicini ne samo da unapređuje sigurnost i zaštitu podataka, već također igra presudnu ulogu u osiguravanju etičkih i profesionalnih standarda unutar zdravstvene prakse.

Mogući napadi i metode sakrivanja dokaza

U digitalnom svijetu, zdravstvene institucije su često mete različitih napada, uključujući: krađu identiteta, *ransomware*, *phishing* i sl. Napadači koriste različite tehnike za sakrivanje svojih tragova, uključujući brisanje *log*-ova, upotrebu anonimnih mreža i *rootkit*-ova [3]. U nastavku je dat detaljniji pregled najčešćih napadačkih tehnika koje se koriste u cilju kompromitovanja digitalnih sistema, posebno u kontekstu zdravstvenih institucija:

Krađa identiteta - Napadači mogu da dobiju pristup osjetljivim informacijama pacijenata.

- Opis: Napadači koriste ukradene informacije, kao što su brojevi socijalnog osiguranja ili informacije o kreditnim karticama, kako bi se predstavljali kao druga osoba [4].
- Tehnike: *Phishing* imejlovi koji zavaravaju korisnike da otkriju svoje lične podatke, kao i *malware* koji može pratiti unos podataka.

Ransomware - Zlonamjerni softver koji šifrira podatke i zahteva otkupninu.

- Opis: Ova vrsta zlonamjernog softvera šifrira podatke na sistemu žrtve i zahtijeva otkupninu za dešifrovanje [5].
- Tehnike: Napadači često koriste *phishing* imejlove ili kompromitovane veb stranice za distribuciju *ransomware*-a. Kada žrtva otvori zaraženu datoteku, *ransomware* se aktivira.

Phishing- Prevara koja koristi lažne imejlove kako bi prikupila povjerljive podatke

- Opis: Napadi koji koriste lažne imejlove ili veb stranice da bi prevarili korisnike da otkriju svoje povjerljive podatke [8].
- Tehnike:
 - *Spear phishing*: Ciljanje specifičnih pojedinaca ili organizacija sa prilagođenim porukama.
 - *Whaling*: Napadi na visoko rangirane pojedince (npr. direktore ili rukovodiocce).

SQL injekcije

- Opis: Napadači iskorišćavaju ranjivosti u veb aplikacijama koje koriste SQL baze podataka da bi dobili neovlašćen pristup podacima [2].
- Tehnike: Umetanje zlonamjernih SQL komandi u unosne forme, što može omogućiti napadaču da pristupi, modifikuje ili izbriše podatke.

Cross-Site Scripting (XSS)

- Opis: Napad u kojem napadač umetne zlonamerni kod u veb stranicu koja se zatim izvršava na uređaju korisnika [1].
- Tehnike:
 - *Stored XSS*: Zlonamjerni kod se skladišti na serveru i izvršava svaki put kada korisnik posjeti stranicu.
 - *Reflected XSS*: Kod se šalje u URL i izvršava kada korisnik klikne na link.

Denial of Service (DoS) i *Distributed Denial of Service* (DDoS)

- Opis: Napadi usmjereni na onemogućavanje pristupa sistemima ili uslugama tako što preplavljuju server sa prevelikim brojem zahtjeva [3].
- Tehnike:
 - *Flooding*: Slanje velike količine saobraćaja na server da bi ga preopteretili.
 - *Botnet*: Korišćenje mreže zaraženih uređaja za koordinisani napad.

Social Engineering

- Opis: Manipulacija ljudima kako bi se postigao pristup poverljivim informacijama.
- Tehnike:

- *Pretexting*: Napadač se predstavlja kao neko kome je potrebna pomoć da bi dobio informacije.
- *Baiting*: Ponuda nečega privlačnog (npr. besplatni softver) kako bi se korisnici zavarali da preuzmu zlonamjerni sadržaj.

Malware

- Opis: Široka kategorija zlonamjernog softvera koji može uključivati viruse, trojance, *adware* i *spyware* [4].
- Tehnike:
 - Trojanski konj: Softver koji se maskira kao legitiman, ali omogućava napadaču pristup sistemu.
 - *Spyware*: Softver koji prikuplja informacije o korisniku bez njegovog znanja.

Man-in-the-Middle (MitM)

- Opis: Napad u kojem napadač prisluškuje ili mijenja komunikaciju između dva učesnika bez njihovog znanja [3].
- Tehnike:
 - *Session hijacking*: Preuzimanje kontrola nad sesijom između korisnika i servera.
 - *Eavesdropping*: Korisćenje zaraženih Wi-Fi mreža za presretanje saobraćaja.

Credential Stuffing

- Opis: Korišćenje ukradenih korisničkih imena i lozinki za pristup različitim nalogima, uz pretpostavku da mnogi korisnici koriste iste kredencijale na više sajtova [7].
- Tehnike: Automatizovani alati koji pokušavaju veliki broj kombinacija korisničkih imena i lozinki na različitim platformama.

Razumijevanje ovih napadačkih tehnika ključno je za implementaciju efikasnih mjera zaštite i za bržu forenzičku analizu u slučaju napada. Stalno obučavanje osoblja i korišćenje naprednih sigurnosnih alata može značajno smanjiti rizik od ovih prijetnji.

4. ZAŠTITA PODATAKA

Zaštita pacijentovih podataka zahtijeva višeslojni pristup koji uključuje primjenu različitih tehnologija i metoda. Ključne mere zaštite uključuju:

- Obuka zaposlenih što pretpostavlja uvođenje interaktivnih kurseva i simulacija za prepoznavanje prevara [6].
- Automatizovana ažuriranja softvera podrazumijeva održavanje sigurnosti sistema redovnim ažuriranjem [2].
- Primjena višefaktorske autentifikacije zahtijeva obezbjeđivanje dodatnog sloja sigurnosti prilikom pristupa sistemima.

- Kontrola pristupa uključuje implementaciju politika koje definišu ko ima pristup kojim podacima [8].

Prethodne metode, kao što su ručne provjere i klasične radionice, pokazale su se neefikasnim i često su ostavljale organizacije ranjivim na napade.

5. ZAKLJUČAK

Digitalna forenzika ima ključnu ulogu u očuvanju sigurnosti pacijentovih podataka i očuvanju integriteta medicinskih informacija u eri sveprisutne digitalizacije. S obzirom na rastuće pretnje i sofisticiranost napada, važno je da zdravstvene institucije ne samo da implementiraju savremene alate i tehnike forenzičke analize, već i da razviju sveobuhvatan pristup zaštiti podataka.

Obuka zaposlenih je od esencijalnog značaja; edukacija o prepoznavanju i reagovanju na različite vrste napada može znatno smanjiti rizik od incidenata. Automatizovana ažuriranja softvera i višefaktorska autentifikacija dodatno osnažuju sistemsku sigurnost, dok stroge politike kontrole pristupa osiguravaju da samo ovlašćeni korisnici mogu pristupiti osjetljivim informacijama.

Pored prevencije, digitalna forenzika omogućava bržu i efikasniju reakciju u slučaju napada, čime se minimizuje šteta i obezbeđuje pravna odgovornost. Takođe, pravilna primjena digitalne forenzike može pomoći u identifikaciji i kažnjavanju prekršitelja, čime se dodatno štiti povjerenje pacijenata i javnosti u zdravstveni sistem.

Kao što je pokazano, izazovi koje donosi digitalizacija su značajni, ali uz pravilan pristup i resurse, moguće je stvoriti sigurnije okruženje za zaštitu podataka pacijenata. U budućnosti, kako se tehnologija nastavlja razvijati, digitalna forenzika će imati sve važniju ulogu u očuvanju etičkih standarda i bezbjednosti u zdravstvu. Stoga, proaktivna strategija koja kombinuje forenzičku analizu sa preventivnim mjerama je ključna za očuvanje integriteta i sigurnosti medicinskih informacija.

LITERATURA:

- [1] T. Lillard, "Digital Forensics for Network, Internet, and Cloud Computing: A Forensic Evidence Guide for Moving Targets and Data", Elsevier, 2010. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/book/9781597495370>. [Accessed: Sep. 23, 2024].
- [2] Z. Nemeč Zlatolas, T. Welzer, and L. Lhotska, "Data breaches in healthcare: security mechanisms for attack mitigation," "Cluster Comput.", vol. 27, pp. 8639–8654, 2024. doi: 10.1007/s10586-024-04507-2.
- [3] C. S. Kruse, B. Frederick, T. Jacobson, and D. K. Monticone, "Cybersecurity in healthcare: A systematic review of modern threats and trends," "Technol. Health Care", vol. 25, no. 1, pp. 1–10, 2017. doi: 10.3233/THC-161263.
- [4] M. Gunawardhana, "Role of digital forensic in solving cyber crimes," Nov. 2021. doi: 10.13140/RG.2.2.18493.95205.
- [5] H. F. Atlam, E. El-Din Hemdan, A. Alenezi, M. O. Alassafi, and G. B. Wills, "Internet of Things forensics: A review," "Internet of Things", vol. 11, Article 100220, Sep. 2020. doi: 10.1016/j.iot.2020.100220.
- [6] A. Daskalaki, "Digital Forensics for the Health Sciences: Applications in Practice and Research", 2011. doi: 10.4018/978-1-60960-483-7.
- [7] The Claroty Team, "State of medical device security: Cyber risks and solutions," May 16, 2023. [Online]. Available: <https://claroty.com/blog/state-of-medical-device-cybersecurity-risks-and-solutions>. [Accessed: Sep. 23, 2024].
- [8] R. Mahmoud and Y. Al-Najjar, "Cybersecurity in healthcare industry," "Global Scientific Journals", vol. 12, no. 2, pp. 978–985, Feb. 2024.



XVI međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2024

Banja Luka, 27 - 28. 9. 2024. godine



ANALIZA POSTIGNUĆA UČENIKA NA TESTOVIMA UZ POMOĆ I BEZ POMOĆI DIGITALNIH ALATA

Aleksandra Ivanov

Arhitektonska tehnička škola, ssaannddrraa09@gmail.com

Olja Krčadinac

Fakultet za informatiku i računarstvo, Univerzitet Union Nikola Tesla, olja.krcadinac@gmail.com

Željko Stanković

Panevropski univerzitet Apeiron, zeljko.z.stankovic@apeiron-edu.eu

Zoran Ž. Avramović

Panevropski univerzitet Apeiron, zoran.z.avramovic@apeiron-edu.eu

Apstrakt: U ovom radu obrađena su postignuća učenika na tri testa iz predmeta matematika. Uslovi u kojima su rađeni testovi kontrolisani su i menjali se u sve tri faze u odnosu na dozvolu korišćenja računara i mobilnih telefona na testu. Uzorak je činio 75 učenika prvog razreda Arhitektonske tehničke škole. Nakon testova, učenici su popunjavali anketni listić koji se odnosio na korišćenje digitalnih alata u rešavanju testova. Analizom testova i anketnog listića utvrđeno je da: učenici srednje škole postižu daleko bolje rezultate na testu iz matematike uz primenu digitalnih alata nego bez primene istih, učenici mogu savladati određeno gradivo upotrebom digitalnih alata a ne samo prepisivati rešenja i postignuća učenika na testu su značajno bolja nakon upotrebe digitalnih alata.

Ključne reči: postignuća, digitalni alati, internet.

Abstract: In this paper we analyze the achievements of students on three tests in the subject of mathematics. The conditions under which the tests were conducted were controlled and varied across the three phases with regard to the permission to use computers and mobile phones during the test. The sample consisted of 75 first-year students from the Architectural Technical School. After the tests, the students completed a questionnaire related to the use of digital tools in solving the tests. The analysis of the tests and the questionnaire revealed that high school students achieve significantly better results on mathematics tests with the application of digital tools than without them, students can master certain material using digital tools rather than just copying solutions, and the students' achievements on the test are significantly better after the use of digital tools.

Keywords: achievements, digital tools, internet.

1. UVOD

Ekspanzija korišćenja digitalnih tehnologija u nastavi uopšteno a samim tim i u nastavi matematike počinje za vreme pandemije virusa Kovid-19. U smislu rešavanja testova koji su bili onlajn karaktera, učenici su uglavnom koristili digitalne alate. Pri prelasku na tradicionalnu nastavu, učenici su ponovo morali da se navikavaju na tradicionalno rešavanje testova, bez računara i mobilnih telefona.

Veliki broj nastavnika smatra da korišćenje digitalnih alata na testovima omogućava da učenici samo prepisu rešenje ne razmišljajući o postupku rešavanja i površno razumeju problem. Takođe, postoji mogućnost smanjena veština računanja, distrakcije zbog korišćenja digitalnih tehnologija koje se često koriste na način koji nije predviđen za učenje. Mnogi učenici ne koriste na pravilan način digitalne alate pa se tako mogu stvoriti razlike među učenicima, dajući prednost onima koji bolje koriste tehničke resurse.

Činjenica je da ne vole svi matematiku, to je teška nauka kojoj je potreban poseban pristup i sa strane učenika pa i nastavnika. Potrebno je omogućiti učenicima koji ne vole da vežbaju klasično i tradicionalno, interesantniji način izrade zadataka. U ovom radu predstavljeno je istraživanje koje dokazuje da postignuća učenika mogu biti znatno veća ukoliko se u nekoj fazi testa dozvoli korišćenje digitalnih tehnologija.

Digitalne tehnologije nude nove mogućnosti za nastavu i učenje matematike, posebno u predstavljanju i vizualizaciji, istraživanju, manipulaciji, modelovanju, identifikaciji varijanti rešavanja problema, pokretanju pretpostavki, pa čak i podršci za generalizaciju problema (Santos-Trigo & Reyes-Martínez, 2019; Yao & Manouchehri, 2019).

Rešavanje matematičkih problema je plodno istraživačko polje u obrazovanju iz matematike (Liljedahl & Cai, 2021). Ipak, uloga digitalnih alata u rešavanju matematičkih problema i njihov uticaj na izražavanje matematičkog razmišljanja ostaje nedovoljno istražena tema.

Nekoliko istraživačkih timova nudi dokaze o strategijama rešavanja problema i načinima razmišljanja koje razvijaju učenici i nastavnici pomoću tehnoloških alata (Jacinto & Carreira, 2019). Opšte studije o stručnosti u rešavanju matematičkih problema predložile su idealizovane preskriptivne modele i, u novije vreme, deskriptivne modele zasnovane na empirijskim podacima (Rott, 2021). Prema Carlsonu i Blumu, stvarno rešavanje matematičkih problema retko se odvija na linearan, jednostavan način; umesto toga, kao što je pokazano kod mladih ili odraslih osoba koje rešavaju problem, proces se odvija ciklično. To je takođe slučaj kada se za probleme koriste digitalni alati u izvođenju procesa (Carreira & Jacinto, 2019; Jacinto & Carreira, 2021; Rott, 2021). Međutim, uloga tehnologije u pokretanju ove ciklične aktivnosti još uvek nije dovoljno shvaćena.

2. METODOLOGIJA RADA

U radu su korišćena dva izvora informacija: postignuće učenika na tri testa (eksperiment) i anketa. U eksperimentu sa tri testa učestvovalo je 75 učenika prve godine Arhitektonske tehničke škole. Vremenski period na koji se odnosi na istraživanje je maj 2024. godine. Eksperiment se odvijao u tri faze.

Prva faza istraživanja odnosila se na rešavanje testa bez upotrebe digitalnih alata. Učenici su podeljeni u 3 grupe i razvrstani u tri računarska kabineta. Radili su test iz predmeta matematika. Test je sadržao 10 zadataka iz oblasti Polinomi koja se po planu i programu izučava u tom periodu. Zadaci su razvrstani po nivoima i ishodima koji se očekuju od učenika za određeni tip zadatka. Učenici se nisu posebno pripremali jer u svrhu eksperimenta nisu bili obavešteni kada će raditi test. Učenici su zadatke rešavali 60 minuta bez upotrebe bilo kakvih digitalnih alata, računara i mobilnih telefona.

U drugoj fazi istraživanja iste grupe učenika su razvrstane u iste računarske kabinete. Radili su test koji je sadržao isti broj zadataka, istog nivoa i ishoda kao test u prvoj fazi. Ovoga puta učenicima je bilo dozvoljeno da koriste računar i/ili mobilni telefon a test su rešavali 60 minuta.

Treća faza istraživanja podrazumevala je da se učenicima u istim uslovima kao u prve dve faze daju zadaci istog nivoa i ishoda, ovoga puta bez korišćenja računara i mobilnih telefona kao u prvoj fazi, sa ciljem provere naučenog.

Nakon izrade ova tri testa, učenici su popunjavali anketni listić. Anketa je sadržala 14 pitanja koja se odnose na korišćenje digitalnih alata za učenje i rešavanje testova.

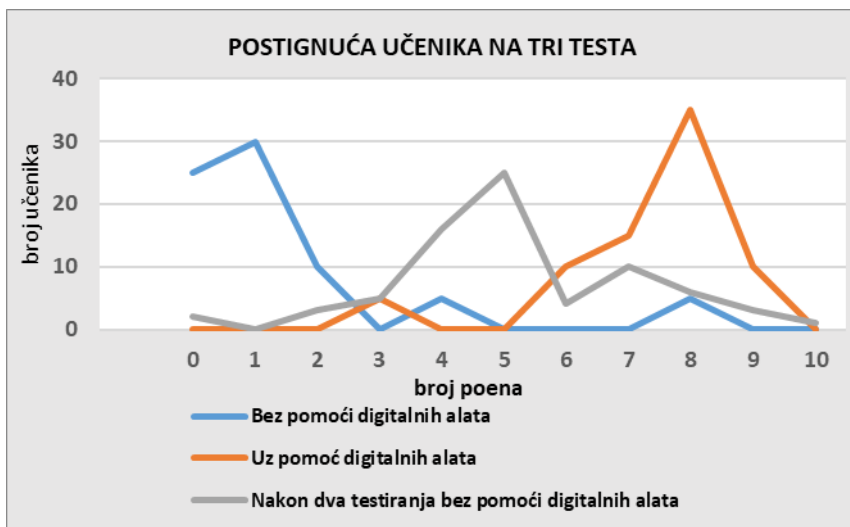
U radu su obrađena postignuća učenika na testovima u sve tri faze i anketa. Prva pretpostavka glasi: *Učenici srednje škole postižu značajno bolje rezultate na testu iz matematike uz primenu digitalnih alata nego bez primene istih.* Druga pretpostavka se odnosi na to da: *Učenici mogu savladati određeno gradivo upotrebom digitalnih alata a ne samo prepisivati rešenja.* Opšta pretpostavka glasi: *Postignuća učenika na testu su značajno bolja nakon upotrebe digitalnih alata.*

3. REZULTATI

3.1. Prikaz postignuća na testovima

Na dijagramu 1 možemo videti da su učenici postigli znatno bolje rezultate korišćenjem digitalnih tehnologija što je bilo očekivano. Međutim, na trećem testu je upotreba digitalnih tehnologija bila zabranjena isto kao na prvom testu a učenici su takođe postigli bolje rezultate. Prosečan broj poena na testu u kome se nisu koristila digitalna sredstva je samo 1.47/10 poena, na drugom testu sa primenom digitalnih tehnologija 7.33/10 poena.

Na testu koji je dokazao da učenici nisu samo prepisivali rešenja prosečan broj poena je bio 5.45/10.

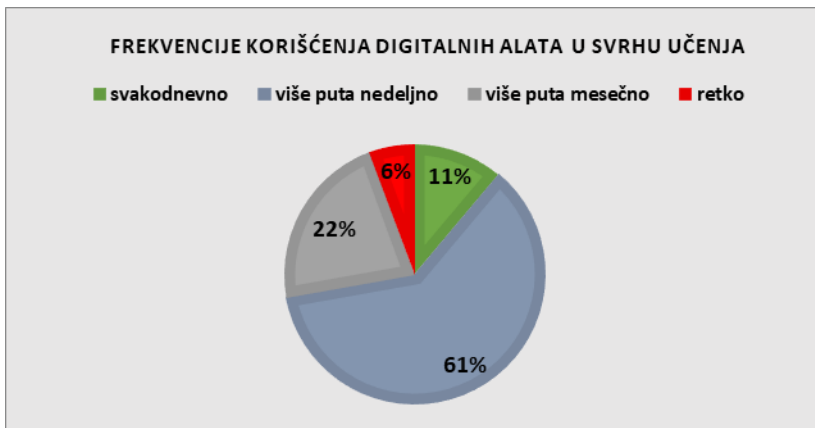


Dijagram 1. Uпорedni prikaz broja poena na sva tri testa

3.2. Rezultati analize anketnog listića

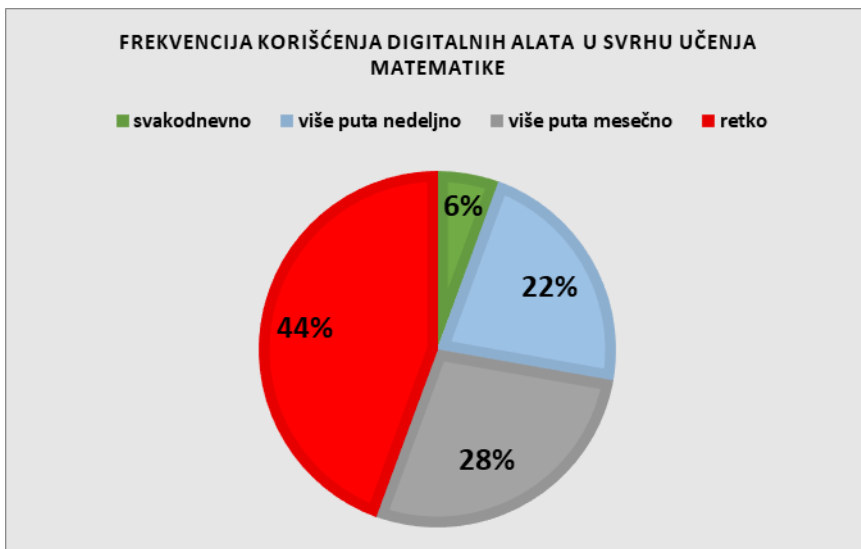
Rezultati analize anketnog listića pokazali su da učenici poseduju računar kod kuće u 94.4% slučajeva dok 100% učenika poseduje pametni mobilni telefon. Internet koriste svi ispitanici

učenici a 94.4% uglavnom preko mobilnog telefona. 54 % učenika internet koristi u svrhu zabave, a ostali za učenje. Veliki procenat učenika (61%) koristi internet i digitalne tehnologije više puta nedeljno u svrhu učenja. (dijagram 2). Veliki procenat učenika (61%) koristi internet i digitalne tehnologije više puta nedeljno u svrhu učenja. (dijagram 2).



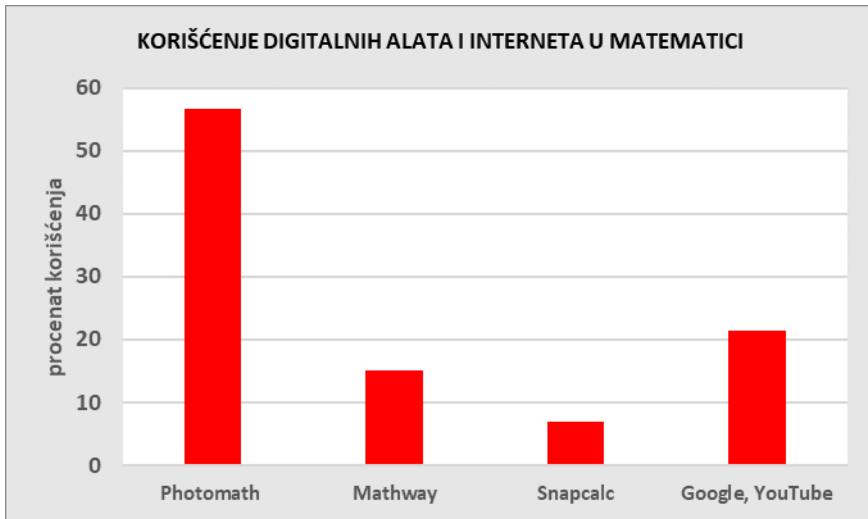
Dijagram 2. Korišćenje digitalnih alata za učenje

Za učenje matematike, učenici retko koriste digitalne alate, svakodnevno ih koristi samo 6% učenika (dijagram 3).



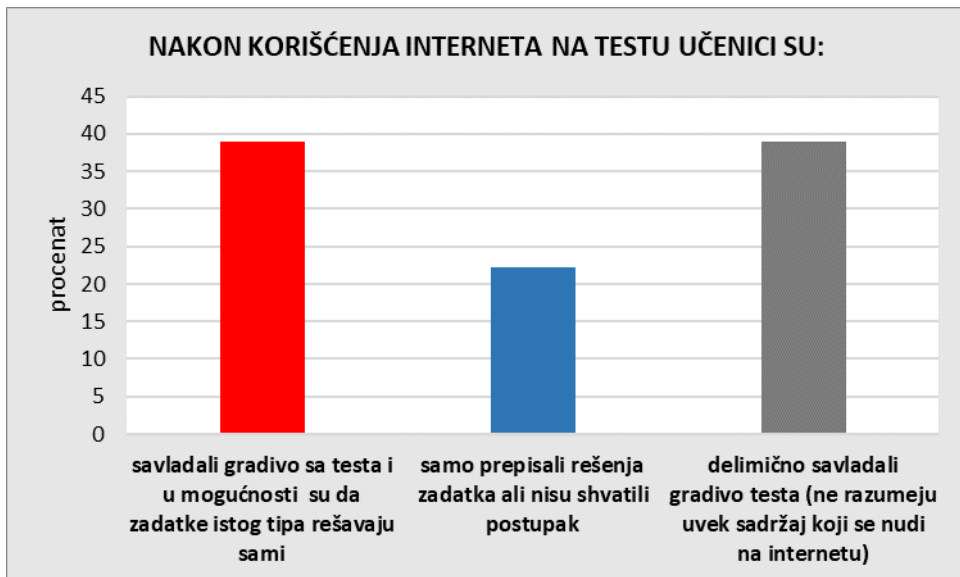
Dijagram 3. Korišćenje digitalnih alata i interneta za učenje matematike

Na testu na kome je bilo dozvoljeno korišćenje digitalnih alata učenici su uglavnom koristili alate Photomath u 56.6%, Mathway (15%), Snapcalc (7%), dok su ostali učenici koristili Google search, YouTube i aplikacije čijeg se imena ne sećaju (dijagram 4).



Dijagram 4. Najčešće korišćeni alati

94.4% učenika smatra da bi im pristup internet i digitalnim alatima omogućio bolje i efikasnije rešavanje zadataka iz matematike. Učenici smatraju da su u velikoj meri savladali gradivo sa testa korišćenjem digitalnih tehnologija (39,8 %) (dijagram 5).



Dijagram 5. Mišljenje učenika o uspešnosti savlađivanja gradiva na testu

4. ZAKLJUČAK

Rezultati prikazani u ovom istraživanju pokazuju da integracija digitalnih tehnologija u nastavu matematike može značajno unaprediti postignuća učenika, pod uslovom da se koristi na odgovarajući način. U prvoj fazi istraživanja učenici su test radili na tradicionalan način i postignuća učenika u smislu prosečnog broja poena bila su 1.47 poena od maksimalnih deset. U drugoj fazi istraživanja uz pomoć interneta i digitalnih alata, učenici pokazuju znatno bolji rezultat iznad sedam prosečnih poena. Treća faza, u kojoj su učenici takođe radili test na tradicionalan način pokazuje da u drugoj fazi učenici nisu samo mehanički prepisali rešanja zadataka već su stekli nova znanja što najbolje pokazuje prosečan broj poena iznad pet. Takođe, učenici smatraju daim je ovaj način rada zaista pomogao da savladaju određenu oblast i da su nakon ovog istraživanja spremni da koriste računar i mobilni telefon na način koji je drugačiji od onog na koji su navikli.

Digitalni alati pružaju nove mogućnosti za istraživanje, vizualizaciju i rešavanje matematičkih problema, čime se povećava angažovanost i interesovanje učenika. Međutim, neophodno je obratiti pažnju na potencijalne nedostatke, kao što su površno razumevanje problema i smanjene veštine računanja, pa pronaći balans između tradicionalnih metoda učenja i digitalnih inovacija. Naravno, ne mogu se svi matematički problemi rešavati digitalnim alatima, ali kada se problem podeli na više manjih problema, uz korišćenje interneta moguće je zaista učiti na taj način.

Dalji tok istraživanja odnosi se na edukacijunastavnika i učenika za efikasnije korišćenje digitalnih alata u svrhu učenja, razvijanju strategija za upotrebu ovih alata i njihovu optimalnu primenu, osmišljavanje zadataka koji će podsticati kritičko razmišljanje idublje razumevanje matematičkih koncepata kombinovanjem tradicionalnih metoda i elektronskog učenja.

LITERATURA:

- [1] Carlson, M., Bloom, I. (2005). The cyclic nature of problem solving: An emergent problem-solving framework. *Educational Studies in Mathematics*.
- [2] Jacinto, H., & Carreira, S. (2021). Digital tools and paper-and-pencil in solving-and-expressing: How technology expands a student's conceptual model of a covariation problem. *Journal on Mathematics Education*.
- [3] Liljedahl, P., & Cai, J. (2021). Empirical research on problem solving and problem posing: A look at the state of the art. *ZDM Mathematics Education*.
- [4] Rott, B., Specht, B., & Knipping, C. (2021). A descriptive phase model of problem-solving processes. *ZDM–Mathematics Education*.
- [5] Santos-Trigo, M., & Reyes-Martínez, I. (2019). High school prospective teachers' problem-solving reasoning that involves the coordinated use of digital technologies. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*.
- [6] Yao, X., & Manouchehri, A. (2019). Middle school students' generalizations about properties of geometric transformations in a dynamic geometry environment. *The Journal of Mathematical Behavior*.



XVI međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2024

Banja Luka, 27 - 28. 9. 2024. godine



UNAPREĐENJE POVERENJA U IZVORE INFORMACIJA: PRIMER KORIŠĆENJA VIKIPEDIJE NA SRPSKOM JEZIKU

Ivana Firaunović

Šabačka gimnazija Šabac, ivanafiraunovic@sabackagimnazija.edu.rs

Dragana Dudić

Univerzitet Nikola Tesla, Fakultet za računarstvo i informatiku Beograd, ddudic@unionnikolatesla.edu.rs

Nebojša Ratković

Wikimedia Srbija, Beograd, nebojsa.ratkovic@wikimedia.org

Apstrakt: *Vikipedija na srpskom jeziku je 22. najveća Vikipedija na svetu sa 365.959 registrovanih korisnika i više od 688.000 članaka, što je čini korisnom za primenu u različitim obrazovnim domenima. U ovom radu predstavljamo preliminarne rezultate pilot saradnje između Fakulteta za računarstvo i informatiku, Šabačke gimnazije i Vikimedije Srbije. Koristili smo strukturirane upitnike kako bismo utvrdili trenutnu situaciju i procenili nivo svesti i uključenosti studenata u proces uređivanja Vikipedije nakon predavanja. Rezultati prvog upitnika otkrili su glavne prepreke u uključivanju Vikipedije u obrazovni proces. Na osnovu informacija koje smo dobili organizovali smo odgovarajuća predavanja o Vikipediji uopšteno, kao i o uređivanju Vikipedije. Nakon tih predavanja student,đaci i profesori su izabrali teme u okviru svojih predmeta, ali u skladu sa svojim interesovanjima. Trenutno završavaju svoje radove i imamo obećavajuće preliminarne rezultate.*

Ključne reči: visoko obrazovanje, srednje obrazovanje, Vikipedija, srpski jezik.

1. UVOD

Wikipedia je slobodna, višejezična, online enciklopedija koju kreira i uređuje zajednica volontera širom sveta. [1] Njen osnivač je zadužbina Wikimedia. Wikipedia je počela kao engleska verzija pre 23 godine i danas obuhvata 342 jezika. Srpska verzija Vikipedije nastala je dve godine nakon prve verzije.

Prema najnovijim statistikama Vikipedije [2], Vikipedija na srpskom jeziku ima 365.959 registrovanih korisnika i 688.773 članka, što je čini 22. najvećom Vikipedijom na svetu. Ove činjenice su zaista zapanjujuće, međutim mnogi nastavnici još uvek ne veruju Vikipediji. Oni smatraju da Vikipedija nije pouzdan izvor informacija zbog njene otvorenosti i dostupnosti [3]. Ove dve karakteristike Vikipedije mogu se smatrati nedostatkom zbog nepotpunosti nekih članaka, ali i članaka koji su zastareli [4], ali one mogu biti prednost jer omogućavaju svima da čitaju, uređuju i kreiraju sadržaj [5].

Treba imati na umu da Vikipediju na srpskom jeziku ne uređuju samo obični registrovani korisnici, već i posvećeni volonteri koji su organizovani u hijerarhijsku strukturu sa različitim ulogama poput administratora, proveravača, patrolera i ostalih. Takođe, postoje specijalizovane

tehnologije za prepoznavanje zlonamernog sadržaja[6]. Da bi povećala svoj kredibilitet, Vikipedija koristi mehanizme licenciranja i referenciranja koji omogućavaju verifikaciju informacija i obezbeđuju sigurnost. I pored ovih mera, Nažalost Vikipedija još uvek nije dovoljno prepoznata u obrazovnim institucijama širom sveta.

Postoji nekoliko studija koje istražuju upotrebu Vikipedije u obrazovnim svrhe. Nedavna studija u Estoniji pokazuje da 381 učenik viših razreda opšte obrazovnih škola koristi Vikipediju sa većim interesovanjem i svesnošću, s posebnim naglaskom na razvoj digitalnih i informacionih veština[7]. Studija iz Australije, koja je obuhvatila 1681 studenta prvog ciklusa studija, ukazuje na značajan uticaj Vikipedije kao početnog izvora informacija u učenju[8]. Druga studija u Pakistanu, koja je uključivala 226 master studenata, pokazuje da studenti redovno koriste Vikipediju i pozitivno ocenjuju njenu korisnost[9].

Ovaj rad predstavlja preliminarne rezultate pilot projekta saradnje između Fakulteta za računarstvo i informatiku Univerziteta Union Nikola Tesla, Šabačke gimnazije i Vikimedije Srbije. Ciljevi projekta su da se istraže mogućnosti Vikipedije i promovišu veštine u njenom uređivanju kako među studentima na visokom i učenicima u srednjem obrazovanju tako i među profesorima. Na taj način bi se istakao značaj pravilnog kreiranja i uređivanja sadržaja Vikipedije, što će doprineti njenom većem kredibilitetu na lokalnom i globalnom nivou.

2. MATERIJALI I METODE

U istraživanju su učestvovala tri grupe: učenici srednje škole, studenti i profesori. Svi učesnici su pristali da učestvuju u projektu. **Učenici srednje škole:** Odabrali smo 20 učenika iz Šabačke gimnazije. Njihovi zadaci su uključivali kreiranje i uređivanje članaka na temu „Operativni sistemi“. **Studenti:** Uključeni su studenti treće godine na Fakultetu za računarstvo i informatiku Univerziteta Union Nikola Tesla. Oni su radili na temama vezanim za „Internet alate i usluge“. **Profesori:** Priključeno je i 20 profesora sa iskustvom u obrazovnim tehnologijama i medijskoj pismenosti, kako bi dali stručno mišljenje o efektivnosti projekta i njegovom uticaju na obrazovni proces. Profesori su kontrolisali tekstove učenika, ali su i sami dodavali članke na Vikipediju.

3. FAZE ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je organizovano u četiri faze. **Početna faza:** Istraživanje trenutne svesti i ponašanja učesnika, studenata i profesora u vezi sa Vikipedijom. Anketama su prikupljeni podaci o njihovom znanju i iskustvu sa Vikipedijom. **Informativna faza:** Predavanja i obuke organizovane su od strane Vikimedije Srbije, prilagođene uzrastu i nivou znanja učesnika. **Proaktivna faza:** Učenici i studenti su dobili zadatak da kreiraju članke na Vikipediji prema odabranim temama. Tokom ove faze, predstavnici Wikimedia Srbije su ih pratili i pružali pomoć. **Evaluaciona faza:** Povratne informacije učesnika o predavanjima, obukama i procesu uređivanja Vikipedije su prikupljene putem anketa.

Glavno istraživačko pitanje koje smo postavili je: „Kako vežbe i predavanja mogu uticati na promovisanje korišćenja Vikipedije među studentima računarskih nauka različitih uzrasta?“ Da bismo odgovorili na ovo pitanje, odabrali smo dve grupe studenata sa značajnim znanjem iz računarskih nauka i istraživačkim veštinama. Prva grupa uključuje 20 studenata treće godine na Fakulteta za računarstvo i informatiku Univerziteta Union Nikola Tesla, dok druga grupa čini 20 učenika druge godine odeljenja učenika sa posebnim sposobnostima za računarstvo i

informatiku u Šabačkoj Gimnaziji. Treću grupu čine profesori Gimnazije. Svi učesnici i profesori su pristali da učestvuju u ovom istraživačkom projektu.

U skladu sa dogovorom sa studentima, učenicima i profesorima, za proaktivnu fazu smo odabrali teme sa malo ili nimalo članaka na Vikipediji na srpskom jeziku. Za studente univerziteta tema je bila „Internet alati i usluge“, dok su za učenike gimnazije je odabrana tema „Operativni sistemi“, profesori su imali teme po izboru, a vezane usko za predmet koji predaju. Tokom proaktivne faze, učesnici su imali zadatak da kreiraju, barem jednu stranicu na srpskom jeziku unutar odabrane teme, prema svojim interesovanjima. Tokom ove faze, učesnici su nadzirani, vođeni od strane predstavnika Wikimedia Srbije. Nakon što su završili zadatke, tokom evaluacione faze učesnici su pružili povratne informacije o predavanjima, obukama i procesu uređivanja Vikipedije, kao i o problemima na koje su naišli.

Za prikupljanje podataka u prvoj i četvrtoj fazi koristimo ankete u obliku strukturiranih upitnika. Upitnici su na srpskom jeziku i sastoje se od 10 osnovnih, ali informativnih pitanja, podeljenih u tri grupe. Podaci su prikupljeni putem strukturiranih upitnika sa pitanjima o Vikipediji, autorskim pravima i referenciranju, a analizirani su deskriptivnom statistikom.

4. REZULTATI

Početni upitnik nam je dao uvid u trenutni status percepcije studenata o Vikipediji i njenoj upotrebi, dok od upitnika iz četvrte faze očekujemo da pokažemo naš napredak u procesu obrazovanja o Vikipediji. Detaljni rezultati koji pokazuju opštu informativnost studenata u vezi sa Vikipedijom dati su u Tabeli 1. Otkrili smo da su referenciranje i licenciranje autorskih prava veoma važni kao mehanizmi poverenja, a detaljni rezultati o razmišljanjima studenata o autorskim pravima uopšte i licenciranju autorskih prava dati su u Tabeli 2, dok su detaljni rezultati u vezi sa percepcijom referenciranja kod studenata dati u Tabeli 3.

Nakon završetka početne faze, identifikovali smo različite nivoe tri pojavljene problematike u obrazovnim ustanovama: neznanje o mogućnostima Vikipedije, važnost i upotreba referenciranja i važnost licenci.

Tabela 1. Frekvencije odgovora u početnoj fazi dobijene za prvu grupu pitanja od srednjoškolaca (SS%) i studenata univerziteta (UN%), kao i profesora (PR%).

Pitanja	Odgovori	SS%	UN%	PR%
U kojoj meri vam je zanimljiva mogućnost uređivanja Vikipedije?	izuzetno interesantno	10	30	40
	veoma interesantno	5	35	15
	interesantno	50	30	35
	malo interesantno	25	5	0
	nije interesantno	10	0	0
Da li ste pokušali da uređujete Vikipediju?	da	15	30	65
	ne	85	70	35
Da li ste ikada uspešno uređivali Vikipediju?	da	20	10	20
	ne	10	5	45

	Nisam do sada uređivao Vikipediju	70	85	35
	Online izvor informacija	55	30	35
Šta za vas predstavlja Vikipedija?	literatura za pisanje eseja, seminarskih radova	5	10	5
	mesto gde se mogu razmeniti znanja	10	10	15
	online alat za pretraživanje	0	0	25
	Internet enciklopedija	30	50	20
U koju svrhu koristite Vikipediju?	pisanje eseja, seminarskih radova	9.76	27.08	0
	proširivanje znanja	21.95	27.08	35
	online pretraga	34.15	27.08	35
	zabavu	9.76	2.08	20
	pronalaženje/učenje nečeg novog	24.39	16.67	10

Tabela 2. Učestalosti odgovora u početnoj fazi dobijene za prvu grupu pitanja učenika srednjih škola (SS%), studenata (UN%) i profesora (PR%).

Pitanja	Odgovori	SS%	UN%	PR%
Šta je referenciranje?	Citiranje izvora informacija	40	55	85
	Nabrajanje svih materijala koje smo pročitali u vezi sa datom temom	30	35	15
	Prepisivanje	5	5	0
	Skup pravila koji otežava pisanje	10	0	0
	Citiranje knjiga na kraj eseja	15	5	0
Kada citirati, a kada ne?	Nikad	2.73	0	0
	Kada doslovno kopiram tekst iz knjige ili udžbenika	12.73	26.09	36.19
	Kada doslovno kopiram bilo koji tekst	10.91	15.94	11.82
	Kada doslovno izjavim nešto što je opšte poznato	2.73	1.45	0
	Kada prepričavam nešto što je opšte poznato	1.82	0	0
	Kada prepričavam tekst iz knjige ili udžbenika	11.82	10.14	4.55
	Kada prepričavam bilo koji tekst	4.55	7.25	11.82
	Kada doslovno izjavim nešto što mi je neko rekao	9.09	5.80	4.55
	Kada prepričavam nešto što mi je neko rekao	1.82	1.45	9.09
	Kada prepričavam tuđe ideje	7.27	2.90	1.82
	Kada doslovno koristim tuđe ideje	10.91	11.59	7.27
	Kada izražavam svoje ideje	2.73	0	0
	Kada kopiram celu tabelu	11.82	10.14	8.34
Kada kopiram deo tabele	9.09	7.25	4.55	

Tabela 3. Učestalosti odgovora u početnoj fazi dobijene za drugu grupu pitanja od srednjoškolaca (SS%), studenata (UN%) i profesora (PR%).

Pitanja	Odgovori	SS%	UN%	PR%
Šta je Autorsko Pravo?	Pravo koje neko polaže na svoje delo	25%	60%	50%
	Deo intelektualne svojine	0%	5%	20%
	Metod za zabranu korišćenja određenog izvora informacija	0%	0%	0%
	Izvor prihoda	0%	0%	0%
	Autorovo pravo da odredi kako će njegovo delo biti korišćeno	75%	35%	30%
Koje Licencije za Autorska Prava Poznajete?	Creative Commons	23.08%	42.86%	38.42%
	Copyleft	11.54%	7.14%	11.52%
	GNU	11.54%	28.57%	28.50%
	Public domain	15.38%	7.14%	9.13%
	SPARC	9.62%	0.00%	2.43%
	Finding Images	7.69%	0.00%	2.5%
	Open Educational Resources	9.62%	7.14%	5.00%
Da Li Ste Ikada Koristili Licencije za Autorska Prava?	Open Access	11.54%	7.14%	2.5%
	da	20%	25%	35%
	ne	80%	75%	65%

5. REZULTATI

Analizom podataka iz početne faze ustanovili smo različite nivoe razumevanja o Wikipediji među učesnicima. Detaljni rezultati pokazali su da su referenciranje i licenciranje autorskih prava ključni za poverenje u sadržaj Wikipedije. U evaluacionoj fazi, povratne informacije su otkrile poboljšanja u razumevanju pravilnog kreiranja i uređivanja sadržaja. **Učenici srednje škole** su pokazali poboljšano razumevanje važnosti referenciranja i licenciranja tokom proaktivne faze. **Studenti** su primetili povećanu sposobnost u korišćenju Wikipedia alata i stvaranju kvalitetnih članaka. **Profesori** su ocenili projekt kao koristan alat za učenje i naglasili važnost integracije Wikipedije u obrazovne procese.

6. ZAKLJUČAK

Rezultati ovog istraživanja pokazuju da upotreba Wikipedije u obrazovanju može poboljšati veštine u istraživanju i pisanju među učenicima, studentima i profesorima. Takođe, ukazuje na potrebu za dodatnim obrazovanjem o pravilnom kreiranju i uređivanju sadržaja kako bi se povećao kredibilitet Wikipedije.

Dobijeni rezultati nas ohrabruju da nastavimo sa radom i da proširimo ovo istraživanje, uključujući više studenata, više domena i više jezika.

Reference:

- [1] Wikipedia (2024), Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:About>. Accessed 2 May 2024.
- [2] Serbian Wikipedia statistics, <https://stats.wikimedia.org/#/sr.wikipedia.org> Accessed 2 May 2024.
- [3] Vetter, Matthew A. "Teaching Wikipedia: Appalachian Rhetoric and the Encyclopedic Politics of Representation." *College English*, vol. 80, no. 5, 2018, pp. 397–422. JSTOR, <https://www.jstor.org/stable/26773390>. Accessed 2 May 2024.
- [4] Meishar-Tal, Hagit. "Teachers' Use of Wikipedia with Their Students." 2015. *Australian Journal of Teacher Education (Online)*, vol. 40, no. 12, Edith Cowan University, 2015, pp. 126–140, doi:10.3316/ielapa.680983330989166.
- [5] Benjakob, Omer et al. "Citation needed? Wikipedia bibliometrics during the first wave of the COVID-19 pandemic." *GigaScience* vol. 11,1 (2022): giab095. doi:10.1093/gigascience/giab095
- [6] Sáez-Trumper, Diego. "Online Disinformation and the Role of Wikipedia." *ArXiv abs/1910.12596* (2019): n. pag. doi:10.48550/arXiv.1910.12596
- [7] Remmik, Marvi et al. "Using Wikipedia to Develop 21st Century Skills: Perspectives from General Education Students." *Education Sciences* 14(1):101 (2024) doi:10.3390/educsci14010101
- [8] Selwyn, Neil and Stephen Gorard. "Students' use of Wikipedia as an academic resource - Patterns of use and perceptions of usefulness." *Internet High. Educ.* 28 (2016): 28-34. doi:10.1016/j.iheduc.2015.08.004
- [9] Amina, Wazzuha, Nosheen Fatima Warraich, and Amara Malik. "Usage of and learning from Wikipedia: a study of university students in Pakistan." *Global Knowledge, Memory and Communication* 70.3 (2021): 282-292. doi:10.1108/GKMC-04-2020-0042



XVI međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2024

Banja Luka, 27 - 28. 9. 2024. godine



MODELIRANJE KLJUČNIH INDIKATORA PAMETNIH ZGRADA PRIMENOM PFAHP

Mimica Milošević

Univerzitet ALFA BK, Beograd mimica.milosevic@alfa.edu.rs

Dušan Milošević

Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, dusan.milosevic@elfak.ni.ac.rs

Ana Stanojević

Građevinsko arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, stanojevicana1991@gmail.com

Željko Stanković

Panevropski univerzitet APERION, Banja Luka, zeljko.z.stankovic@apeiron-edu.eu

Apstrakt: S obzirom da postoji potreba za razvojem integrisanog modela za određivanje mera po kojoj su zgrade pametne u ovom radu razvijen je model bodovanja za pametne zgrade. Indikatori su grupisani u šest dimenzija. U razvoju sistema bodovanja, proces donošenja odluka zahteva odgovarajući izbor optimalnog rešenja. Istraživanje se fokusira na Pitagorejski Fazi Analitički Hijerarhijski Proces (PFAHP) kao jednu od metoda višekriterijumskog odlučivanja.

Ključne reči: Pitagorejski fazi analitički hijerarhijski proces, višekriterijumska analiza, pametne zgrade

Abstract: Considering that there is a need to develop an integrated model for determining the degree of smartness of buildings, in this paper a scoring model for the smart buildings is developed. The indicators are grouped into six dimensions. In the development of the scoring system, the decision-making process requires the appropriate selection of the optimal solution. The research focuses on the Pythagorean Fuzzy Analytic Hierarchy Process (PFAHP) as one of the methods of multi-criteria decision making.

Keywords: Pythagorean fuzzy analytic hierarchy process, multi-criteria analysis, smart buildings

1. UVOD

Savremene strategije urbanog razvoja usmerene su na postizanje različitih aspekata održivih gradova. Prema prethodnim studijama do 2050. godine 70% globalne populacije će zauzimati urbana područja. Gradovi budućnosti treba da budu projektovani sa visokim ekološkim komforom i energetsom efikasnošću, uz minimiziranje negativnog uticaja na životnu sredinu. Za evropski građevinski sektor, sve nove zgrade moraju biti zgrade sa skoro nultom potrošnjom energije, jer je neophodno značajno smanjiti emisiju gasova koji uzrokuju efekat staklene bašte. Inovativne informaciono-komunikacione (IK) tehnologije zasnovane na velikim podacima prikupljenim uz pomoć senzora i Internet platformama (*Internet of things* - IoT) postale su deo savremene i napredne urbane infrastrukture, koja između ostalog ljudima pruža mogućnost korišćenja javnih platformi poput e-uprave i e-trgovine kroz kontinuirani razvoj saobraćaja, digitalizaciju nasleđa i virtuelne ture [1,2].

Ekspanzija IoT, veštačke inteligencije (AI), virtuelne realnosti (VR) i BIM-a u novom sistemu upravljanja zgradama (BMS) igraće ključnu ulogu u rastu tržišta. Primena IK tehnologija uticala je na unapređenje građevinske industrije i razvoj koncepta “pametne zgrade”. Ovakve zgrade su atraktivne i održive za korisnike, dok istovremeno imaju nizak stepen negativnog uticaja na životnu sredinu. Svest o značaju razvoja pametnih zgrada porasla je u poslednjih nekoliko decenija. Preteča pametnih zgrada leži u mašinskom razvoju samoregulišućih ekoloških sistema u 18. i 19. veku. Tek krajem 20. veka, uz korišćenje digitalnih računara i izuma, koncept pametnih zgrada se proširio na integraciju tehnologija u različite sisteme objekta. Danas, pametne zgrade predstavljaju objekte sa visokotehnoškim sistemima za grejanje, hlađenje, ventilaciju i klimatizaciju (HVAC), naprednim građevinskim materijalima i značajnom uštedom energije. Prema Evropskoj komisiji, objekti u EU su odgovorni za 40% potrošnje energije, tako da je koncept pametnih zgrada usko fokusiran na minimizaciju energije uz poboljšanje komfora korisnika [3].

Ne postoji standardna, opšte prihvaćena definicija pametne zgrade. Mnogi istraživači i stručnjaci su predstavili različita tumačenja koja pomažu da se razume transformacija konvencionalnih zgrada u efikasnije i prilagodljivije klimatskim promenama. Prilagođavanje klimatskim promenama je jedan od glavnih zahteva za zgrade da zadovolje ekološke performanse i promovišu „pametna“ rešenja. Pametne zgrade podrazumevaju korišćenje inovativnih tehnologija i procesa kao i dizajnerskih rešenja za razvoj zgrada koje su komforne i bezbedne, a istovremeno i ekonomične za svoje korisnike. Tri elementarna faktora - toplotni komfor, vizuelni komfor i kvalitet vazduha u zatvorenom prostoru determinišu kvalitet života u unutrašnjem prostoru zgrade [4]. Pametne inicijative umanjuju potrošnju energije i emisiju ugljenika iz građevinskog sektora [5,6]. Procena stepena “inteligentnosti” arhitektonskih objekata je višedimenzionalno pitanje. Vezano je za tip implementiranih inovativnih tehnologija, ali zavisi i od toga kako su tehnologije integrisane, kao i tipa sistema koji unapređuju. Kao sistem za podršku odlučivanju za različite procene u građevinarstvu, mogu se koristiti i primeniti najnovije tehnike mašinskog učenja.

Ovaj rad ispituje pitanje ocenjivanja mere u kojoj se objekti smatraju pametnim korišćenjem višekriterijumskog odlučivanja. Predloženo istraživanje zasniva se na rangiranju postavljenih kriterijuma za razvoj pametnih zgrada, korišćenjem PFAHP, kako bi se pronašli optimalni indikatori za transformaciju konvencionalnih objekata u održive.

2. DEFINISANJE INDIKATORA “PAMETNIH” ZGRADA

Zbog složenosti postavljenog istraživačkog cilja i velikog broja različitih kriterijuma koji utiču na razvoj pametnih zgrada, istraživački okvir se sastoji od sledećih koraka: Definisanje i usvajanje indikatora koji se odnose na razvoj pametnih javnih zgrada; Definisanje i implementacija Pitagorejskog Fazi Analitičkog Hierarhijskog Procesu (PFAHP); Razvijanje sistema bodovanja za određivanje mere u kojoj su objekti pametni. Prema prethodnim istraživanjima o pametnim zgradama [7], indikatori su podeljeni u šest glavnih grupa koje ukazuju na najznačajnije faktore koji ispituju različite perspektive okvira za pametne zgrade na osnovu kojih je kreiran sistem klasifikacije kriterijuma.

- **Zelena gradnja (G)** – Indikatori se odnose na zelene i ekološki prihvatljive procese u različitim fazama izgradnje, od urbanističkog planiranja do upotrebe materijala: Upravljanje zemljištem (G₁), Bioklimatski dizajn (G₂), Upotreba ekoloških materijala (G₃), Korišćenje OIE sistema (G₄), Korišćenje zelenila (G₅), Upravljanje otpadom (G₆)

- **Upravljanje energijom (E)** - Indikatori se odnose na sisteme za povećanje energetske efikasnosti i minimiziranje potrošnje energije, omogućavajući zgradi da se prilagodi klimatskim uslovima: Upotreba energetski efikasnih procedura (E₁); Pametno merenje (E₂), Upotreba energetski efikasnih električnih uređaja (E₃), Korišćenje naprednih sistema za kontrolu HVAC (E₄), Primena sistema za skladištenje energije i rezervna energija (E₅), Upotreba dinamičkih omotača zgrade (E₆)
- **Komfor i zdravlje (O)** - Indikatori se odnose na različite aspekte komfora korisnika (termalni, vizuelni, akustični...), koji utiču na njihovo blagostanje i zdravlje: Funkcionalnost (O₁), Toplotni komfor (O₂), Kvalitet vazduha u zatvorenom prostoru (O₃), Vizuelni komfor (O₄), Akustični komfor (O₅), Personalizovana kontrola uređaja (O₆)
- **Upravljanje bezbednošću (S)** – Indikatori se odnose na bezbednost života ljudi sa podrškom za zaštitu u katastrofama i politikom privatnosti: Kontrola pristupa (S₁) i detekcija kretanja, Obezbeđivanje života i imovine (S₂); Prevencija, detekcija i zaštita od požara (S₃), Odgovor na katastrofe (S₄), Sajber bezbednost (S₅); Objava politike bezbednosti i privatnosti (S₆).
- **Komunikacija i deljenje podataka (C)** - Indikatori se odnose na korišćenje različitih inovativnih pametnih tehnologija koje omogućavaju komunikaciju između drugih sistema u zgradama: Skladištenje podataka u cloud-u (C₁), Internet stvari (C₂), Zaštita podataka (C₃), Bežična komunikacija (C₄), Sajber sistem (C₅).
- **Sistem automatizacije i kontrole zgrade (B)** - Indikatori se odnose na sisteme automatizacije za praćenje, kontrolu podataka i promenljivih uslova: Uređaji za prikupljanje podataka sa senzorima (B₁), Daljinsko praćenje procesa u zgradama (B₂) Sistem za praćenje u realnom vremenu (B₃), Implementacija softvera (B₄), Praćenje imovine (B₅).

1. PITAGOREJSKI FAZI AHP METOD

Pitagorejski fazi skup (PFS) uveo je Yager [8], generališući fazi skupove uzimajući u obzir članstvo i ne-članstvo. Neka je X fiksiran skup. Pitagorejski fazi skup \tilde{A} je:

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x), \nu_{\tilde{A}}(x)); x \in X\} \quad (1)$$

gde funkcija $\mu_{\tilde{A}}(x) : X \rightarrow [0, 1]$ definiše stepen članstva i $\nu_{\tilde{A}}(x) : X \rightarrow [0, 1]$ definiše

stepen ne-članstva $x \in X$ ka \tilde{A} , respektivno i za svako $x \in X$, važi:

$$0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x)^2 + \nu_{\tilde{A}}(x)^2 \leq 1 \quad (2)$$

Stepen neizvesnosti je:

$$\pi_{\tilde{A}}(x) = \sqrt{1 - (\mu_{\tilde{A}}(x)^2 + \nu_{\tilde{A}}(x)^2)} \quad (3)$$

Par $\langle \mu_{\tilde{A}}, \eta_{\tilde{A}} \rangle$ naziva se Pitagorejski fazi broj. Par $\langle \mu_{\tilde{A}}, \eta_{\tilde{A}} \rangle$ označavamo sa $\langle \mu, \eta \rangle$, gde $\mu \in [0, 1], \eta \in [0, 1], 0 \leq \mu^2 + \eta^2 \leq 1$.

Neka su $\tilde{A} = \langle \mu_1, \nu_1 \rangle$, $\tilde{B} = \langle \mu_2, \nu_2 \rangle$ dva Pitagorejska fazi broja. Tada su osnovne operacije definisane u Tabeli 1:

Tabela 1 Osnovne operacije sa Pitagorejskim brojevima

Sabiranje	$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = \langle \sqrt{\mu_1^2 + \mu_2^2 - \mu_1^2 \mu_2^2}, \nu_1 \nu_2 \rangle$
Množenje	$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = \langle \mu_1 \mu_2, \sqrt{\nu_1^2 + \nu_2^2 - \nu_1^2 \nu_2^2} \rangle$
Množenje skalarom	$\lambda \tilde{A} = \langle \sqrt{1 - (1 - \mu_1^2)^\lambda}, \nu_1^\lambda \rangle$
Stepenovanje	$\tilde{A}^\lambda = \langle \mu_1^\lambda, \sqrt{1 - (1 - \nu_1^2)^\lambda} \rangle$

Eksperti daju ocene na osnovu skale poređenja u paru fazi AHP-a. Zatim se od stručnjaka traži da ocenjuju indiktore koristeći Pitagorejske lingvističke skale za fazi brojeve definisane sa dva parametra. Jezičke varijable su prikazane za Pitagorejske fazi skupove u Tabeli 2.

Tabela 2. Lingvistička Pitagorejska skala

Apsolutno slaba dominacija	$\langle 0.1, 0.9 \rangle$	Prilično jaka dominacija	$\langle 0.6, 0.4 \rangle$
Ekstremno slaba dominacija	$\langle 0.2, 0.8 \rangle$	Veoma jaka dominacija	$\langle 0.7, 0.3 \rangle$
Veoma slaba dominacija	$\langle 0.3, 0.7 \rangle$	Izuzetno jaka dominacija	$\langle 0.8, 0.2 \rangle$
Prilično slaba dominacija	$\langle 0.4, 0.6 \rangle$	Apsolutno jaka dominacija	$\langle 0.9, 0.1 \rangle$
Jednaka važnost	$\langle 0.5, 0.5 \rangle$		

Predloženi metod Pitagorejski fazi analitički hijerarhijski process (PFAHP) predstavljen je kroz korake:

Korak 1. Konstruisati hijerarhijsku strukturu koja predstavlja cilj i konačan skup kriterijuma $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$;

Korak 2. Odrediti lingvističke termine sa odgovarajućim Pitagorejskim fazi brojevima; **Korak 3.** Prikupiti ocene u paru od eksperata koristeći lingvističku skalu iz Tabele 2;

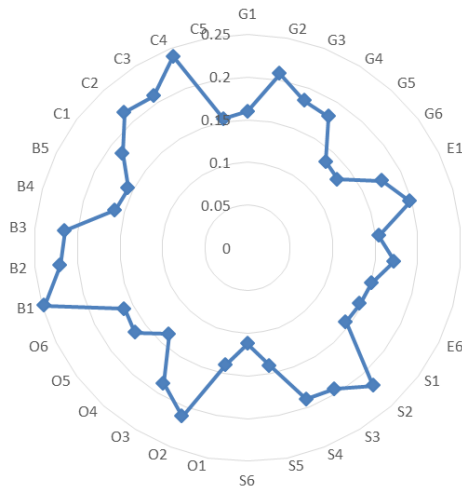
Korak 4. Proveriti konzistentnost matrica poređenja kriterijuma u paru koristeći Saitijevu analizu konzistentnosti;

Korak 5. Izračunati težine kriterijuma PFAHP metodom. Izračunati geometrijsku sredinu svakog reda. Operacija se realizuje u dva koraka. Pitagorejske vrednosti za svaki kriterijum se množe, a zatim se dobijaju vrednosti korena;

Korak 6. Defazifikovati dobijene težine i normalizovati ih na 1.

3. RANGIRANJE PFAHP METODOM

U ovom poglavlju dati su rezultati rangiranja indikatora za izgradnju pametnih zgrada. Hijerarhija problema je definisana je odeljku 2. Težine indikatora date su na Slici 1.



Slika 1. Težine indikatora

Dobijeni rezultati ukazuju na dominaciju dva podkriterijuma u algoritmu, G_2 i E_2 . Konačni rezultati bodovanja indikatora nalaze se u Tabeli 3.

Tabela 3. Rezultati bodovanja indikatora

G_2	E_2	G_3	B_1	G_4	E_1	E_4	S_2	B_2	O_2	G_1	B_3	C_4	E_3	S_3	E_5	S_4
42	39	37	37	37	35	34	34	33	32	32	32	31	31	30	30	30
E_6	O_3	G_5	C_2	G_6	C_3	O_5	O_6	B_4	C_1	B_5	S_1	S_5	O_1	O_4	C_5	S_8
29	28	27	27	27	27	25	24	24	23	23	22	22	21	21	19	17

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu, primenom PFAHP metode, izvršeno je rangiranje indikatora relevantnih za razvoj pametnih zgrada u kontekstu šireg urbanog koncepta pametnog grada. Indikatori u okviru grupa G (zelena gradnja) i E (sistem upravljanja energijom) su kriterijumi koje stručnjaci prepoznaju kao preduslov za izgradnju pametnih zgrada. Dobijeni rezultati pokazuju da bioklimatsko projektovanje zgrada (G_2), pametno merenje (E_2), korišćenje ekoloških materijala (G_3), korišćenje obnovljivih izvora energije (G_4), korišćenje energetski efikasnih postupaka (E_1), korišćenje napredni sistemi HVAC kontrole (E_4) i korišćenje uređaja za prikupljanje podataka sa

senzorima (B_1) imaju dominantnu ulogu u razvoju pametnih zgrada. Primenjena metodologija se može koristiti u procesima donošenja odluka u urbanom sektoru i lokalnim samoupravama gradova.

Zahvalnica: Ovaj rad je realizovan uz finansijsku podršku Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, prema ugovoru o istraživačkom radu Građevinsko-arhitektonskog i Elektronskog fakulteta Univerziteta u Nišu 2024. godine, reg. brojevi: 451-03-65/2024-03/ 200095 i 451-03-65/2024-03/200102.

REFERENCE

- [1] Milošević, M.R.; Milošević, D.M.; Stanojević, A.D. Managing Cultural Built Heritage in Smart Cities Using Fuzzy and Interval Multi-criteria Decision Making. In *Intelligent and Fuzzy Techniques: Smart and Innovative Solutions. INFUS 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing*; Kahraman, C.; Cevik Onar, S.; Oztaysi, B.; Sari, I.; Cebi, S., Tolga, A., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2021; Volume 1197, pp. 599–607.
- [2] Milošević, D.; Milošević, M.; Simjanović, D. A Comparative Study of FAHP with Type-1 and Interval Type-2 Fuzzy Sets for ICT Implementation in Smart Cities. In *Intelligent and Fuzzy Techniques for Emerging Conditions and Digital Transformation*; Kahraman, C., Cebi, S., Cevik Onar, S., Oztaysi, B., Tolga, A.C., Sari, I.U., Eds.; INFUS 2021. Lecture Notes in Networks and Systems; Springer: Cham, Switzerland, 2022; Volume 308, pp. 845–852. [Google Scholar]
- [3] Wang, Z. L.; Wang, A.; Duonis, I.; Yang, R. Integration of plug-in hybrid electric vehicles into energy and comfort management for smart building. *Energy and Buildings*. 2012, 47, 49, 260-266
- [4] Stanojević, A.D.; Milošević, M.; Milošević, D.; Turnšek, B.A.; Jevremović, L.L. Developing multi-criteria model for the protection of built heritage from the aspect of energy retrofitting. *Energy and Buildings*, 2021, 250, 111285.
- [5] Milošević M.; Milošević, A.; Milošević, D.; Stanojević, A.; Dimić, V. Multicriteria analysis of contemporary materials for energy-efficient buildings. In *Proceedings 2nd International Conference “Sfera 2016” Design and thermal insulation of facade walls - a traditional and contemporary approach*, Mostar, B&H, 2016, pp. 46-51.
- [6] Gunatilaka, R.N.; Abdeen, F.N.; Sepasgozar, S.M.E. Developing a Scoring System to Evaluate the Level of Smartness in Commercial Buildings: A Case of Sri Lanka, *Buildings*, 2021, 11, 644.
- [7] Al Dakheel, J.; Del Pero, C.; Aste, N.; Leonforte, F. Smart Buildings Features and Key Performance Indicators: A Review, *Sustainable Cities and Society* 2020, 61: 102328.
- [8] Yager, R.R. (2013). Pythagorean fuzzy subsets. In *Proceedings of 2013 Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting (IFSA/NAFIPS)* (pp. 57-61).



XVI međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITEO 2024

Banja Luka, 27 - 28. 9. 2024. godine



FAZNE I SIMETRIČNE NEURONSKE MREŽE ZA PROCENU KOMPONENTI U ELEKTROENERGETSKIM MREŽAMA

Vladimir V. Đokić

Doktorand na Panevropskom univerzitetu APEIRON Banja Luka, RS, BIH, vladimirdjokic001@gmail.com

Apstrakt: Phase-Lock Loop (PLL) je kontrolisani sistem koji generiše izlazni signal sinhronizovan sa ulaznim referentnim signalom u frekvenciji i fazi. PLL je od izuzetnog značaja u elektroenergetskim sistemima. Primene obuhvataju kontrolu sinusoidnih invertera, kontrolu pogona, identifikaciju harmonijskih struja, kompenzaciju neravnoteže u trofaznim sistemima, itd. Kako bi bolje shvatili kako funkcioše PPL predložićemo originalni trofazni neuronski pristup koji se koristi za procenu faznih i simetričnih komponenti u sistemu. Ovakvu strukturu možemo da koristimo za procenu i kontrolu kvaliteta električne energije. Kroz naše istraživanje videćemo da je cela neuronska arhitektura implementirana na DSP da se može primeniti na trofazno napajanje električnom energijom. U našem istraživanju ćemo prikazati performanse PLL sistema koji se koristi prilikom trofaznog napajanja električne energije. U PLL šemu su ubačeni različiti regulatori, tj. PI, RST zasnovani na fazi logike. Oni su upoređeni u neidealnim uslovima daju dobre rezultate u simulacionim testovima.

Ključne reči: neuronske mreže, fazni sistemi, Adeline neuronska mreža, elektroenergetski sistem, neuronska arhitektura.

1. UVOD

Phase-Lock Loop (PLL) je kontrolisani sistem koji generiše izlazni signal sinhronizovan sa ulaznim referentnim signalom u frekvenciji i fazi. Sa razvojem integrisanih kola, PLL predstavlja strukturu koja se koristi za mnoge aplikacije kao što su savremeni komunikacioni sistemi, ploče za obradu signala ili u trofaznim sistemima napajanja[1].

PLL je od izuzetnog značaja u elektroenergetskim sistemima. Primene obuhvataju kontrolu sinusoidnih invertera, kontrolu pogona, identifikaciju harmonijskih struja, kompenzaciju neravnoteže u trofaznim sistemima, itd. U osnovi, performanse osetljivih sistema povezanih na mrežu kao što su aktivni filteri snage (APF) i neprekidna napajanja (UPS) zavisi od kvaliteta i preciznosti informacija o naponu mreže[2]. Ovo je posebno važno u sistemima distribuirane proizvodnje koji dobijaju značajnu popularnost kako se elektroenergetska industrija u svetu kreće ka liberalizovanijoj trgovini energijom zajedno sa ekološki prihvatljivijom proizvodnjom energije.

U ovakvim primenama, prekomerne fluktuacije parametara signala negativno utiču na kvalitet energije u distributivnom sistemu, posebno u pogledu frekvencije i napona[3]. Precizna i brza detekcija faznog ugla komunalnog napona je stoga od suštinskog značaja za obezbeđivanje ispravnog generisanja referentnih signala. PLL koji se koristi u ovoj aplikaciji mora da se nosi sa naponima izobličeničkih šumova i stoga zahteva robustan, brz i efikasan algoritam upravljanja.

Nedavno su dizajnirani namenski PLL-ovi. Autori [4] su predložili PLL koji omogućava izdvajanje osnovnog sistema napona direktnog niza i procenu glavne frekvencije. U PLL šemu su ubačeni različiti regulatori, tj. PI, RST zasnovani na fazi logike. Oni su upoređeni u neidealnim uslovima daju dobre rezultate u simulacionim testovima. Algoritam[5] detekcije faznog ugla koji je predložen da radi u sinhronom referentnom okviru kako bi izdvojio komponente direktnog niza elektroenergetskog sistema daje dobre rezultate. Ovaj PLL se stoga može koristiti u šemi kontrole kvaliteta električne energije kako bi se sinhronizovao sa mrežom u neuravnoteženim uslovima. Razvijen je i trofazni PLL za procenu frekvencije sistema i faznog ugla komponenti direktne sekvence. Ovaj pristup je uspešno korišćen u APF šemama pod visoko izobličenim naponima.

Predmet istraživanja je primena trofaznog neuronskog pristupa za procenu faznih i simetričnih komponenti kao funkcionisanje PLL za procenu frekvencije sistema i faznog ugla komponenti direktne sekvence, a koji se koristi u APF šemama.

Cilj istraživanja je pristup koji se sastoji od ekstrakcije neuronskih simetričnih komponenti napona, tehnike detekcije neuralne faze i funkcionalni zadaci koji se dekomponuju i aproksimiraju primenom Adaline neuronskih mreža. Cela neuronska arhitektura je implementirana na procesoru digitalnog signala (DSP) i primenjena je na trofazni sistem napajanja.

2. NEURONSKE MREŽE

Tokom poslednje decenije, veštačke neuronske mreže (ANN) su uspešno ubačene u sisteme napajanja kao što su APF[6]. Njihove mogućnosti su od velike prednosti u dizajnu inteligentnih kontrola. Neuralni pristup je na primer predložen za izdvajanje simetričnih komponenti napona i struja za distribuciju električne energije. Ovaj pristup se oslanja na novu formulaciju Teorije trenutnih moći (IPT) koja koristi Adaline neuronske mreže i koja je takođe prikladna za izobličene napone u neuravnoteženim i nestacionarnim uslovima.

Takođe objasniću kako funkcioniše PLL zasnovan na IPT-u. Ovaj pristup je izveden kao vodeći u novoj formulaciji trenutnih moći koju koristi Adalinova neuronska mreža[7]. *Adaline* je jednostavna arhitektura koja se brzo uči i koja je efikasna u *on-line* procenjivanju linearnih odnosa. Ovo je snažno motivisalo implementaciju PLL-a korišćenjem digitalnih tehnologija. Novi neuronski PLL i njegova optimizovana implementacija na procesoru digitalnog signala (DSP) stoga mogu zadovoljiti ograničenja u realnom vremenu i dobro je prilagođena za kompletnu neuralnu APF šemu[8].

3. PRINCIP PLL-A ZA TROFAZNI SISTEM

U osnovi, naponi i struje svakog trofaznog sistema mogu se razložiti na direktan, inverzni i sistem nulte sekvence. Svaki od ova tri sistema definiše sopstvenu amplitudu, fazu i fazni ugao. Napon trofazne mreže može se izraziti prema ovim parametrima:

$$v_{abc} = \sum_{n=1}^N \sqrt{2}V_{dn} C_{32} \mathbf{P}(n\theta_d) \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + \sqrt{2}V_{in} C_{32} \mathbf{P}(-n\theta_i) \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + \sqrt{2}V_{0n} C_{31} \cos(n\theta_0) \quad (1)$$

gde su C_{32} i $P(\theta)$ Klarkove i Parkove matrice, $C_{31}=[\mathbf{1 \ 1 \ 1}]^T$ i N je najveća harmonska struja koja se razmatra. U formuli (1), θ_d , θ_i , θ_0 predstavljaju trenutne faze direktnog, inverznog i sistema nulte sekvence. Uzimajući u obzir fazne uglove $\omega = \omega_d = \omega_i = \omega_0$, fazni ugao ω elektroenergetskog sistema može se formulirati u stabilnom stanju na sledeći način:

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} = \frac{d\theta_d}{dt} = \frac{d\theta_i}{dt} = \frac{d\theta_0}{dt}. \quad (2)$$

Za direktni sistem, komponente dq -napona se dobijaju na sledeći način:

$$\begin{bmatrix} v_{d(d)} \\ v_{q(d)} \end{bmatrix} = \mathbf{P}(-\hat{\theta}_d) \mathbf{C}_{32}^T v_{abc} = \sum_{n=1}^N \sqrt{3} V_{dn} \mathbf{P}(n\theta_d - \hat{\theta}_d) \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + \sqrt{3} V_{in} \mathbf{P}(-n\theta_i - \hat{\theta}_d) \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}^T. \quad (3)$$

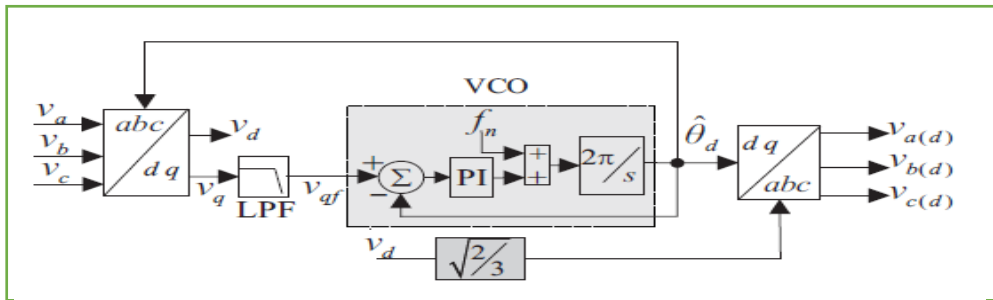
Osnovne komponente direktnog napona u dq -prostoru su teoretski date za $n = 1$:

$$\begin{bmatrix} v_{df(d)} \\ v_{qf(d)} \end{bmatrix} = \sqrt{3} V_{d1} \begin{bmatrix} \cos(\theta_d - \hat{\theta}_d) \\ \sin(\theta_d - \hat{\theta}_d) \end{bmatrix} + \sqrt{3} V_{i1} \mathbf{P}(-\theta_i - \hat{\theta}_d) \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}^T. \quad (4)$$

Niskopropusni filter (LPF) omogućava odvajanje DC-termina od AC-termina (4). Štaviše, procena od $\hat{\theta}_d$ do θ_d vodi nakon filtriranja i u stabilnom stanju do sledećih DC komponenti:

$$\begin{bmatrix} v_{df(d)} \\ v_{qf(d)} \end{bmatrix}_{DC} = \sqrt{3} V_{d1} \begin{bmatrix} 1 \\ \theta_d - \hat{\theta}_d \end{bmatrix}. \quad (5)$$

U idealnom slučaju, DC-deo vkf je blizu nule. Ova komponenta se može koristiti kao ulaz za VCO (*Voltage Controlled Oscillator*) koji daje procenu θ_d . Princip kompletnog PLL-a je prikazan na slici 1 sa proporcionalno-integralnim (PI) regulatorom. VCO treba da ima nominalnu frekvenciju f_n koja može biti 50 Hz. Konačno, VCO izlazi u stacionarnom stanju $\hat{\theta}_d$ koji se koristi u formuli (3).

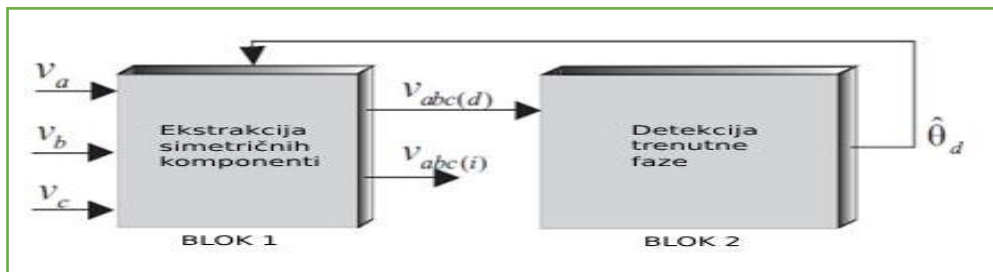


Slika 1: Opšti princip konvencionalnog PLL-a.

Isti razvoji sa $P(\theta_i)$ mogu se primeniti za izdvajanje parametara inverznog sistema i korišćenje VCO koji omogućava procenu $\hat{\theta}_i$. Ovaj pristup je jednostavan, ali nije adekvatan za brze promene frekvencije. LPF i PI regulator uvode vremensko kašnjenje koje nije kompatibilno sa brzim fluktuirajućim frekvencijama. Procenjene komponente direktnog i inverznog napona direktno zavise od kvaliteta trenutne procene faza θ_d i θ_i . S druge strane, greška u proceni trenutnih faza direktno utiče na procenu komponenti napona[9].

4. NOVA ARHITEKTURA NEURALNOG PLL

Objasniću metodu za praćenje osnovne frekvencije izmerenog trofaznog naponskog sistema. Predloženi pristup, ilustrovan slikom 2, sastoji se od dva koraka: prvo izdvajanje simetričnih komponenti napona, a zatim algoritam trenutne faze detekcije. Za svaki korak, problem se formalizuje što dovodi do originalne dekompozicije signala, odnosno trenutnih snaga i napona. U svakom slučaju, pokazujemo da se ovi izrazi mogu naučiti pomoću Adaline neuronskih mreža. Ceo pristup je stoga veoma prilagodljiv i sposoban da uzme u obzir promenljive parameter.

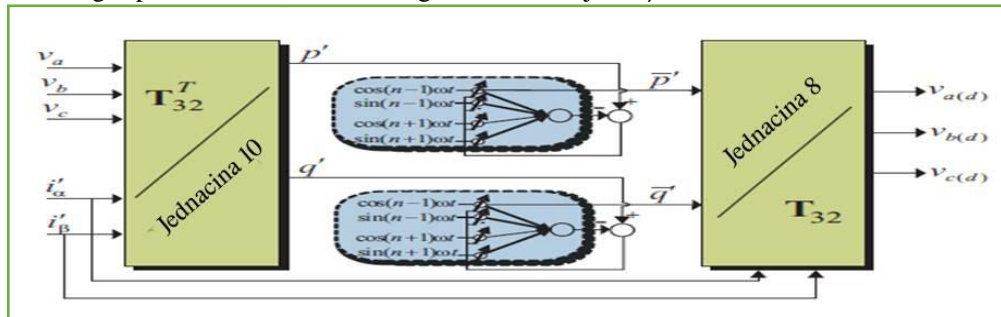


Slika 2: Osnovni princip PLL-a sa dva različita funkcionalna bloka.

4.1. Metoda ekstrakcije neuronskih simetričnih komponenti

Princip ekstrakcije simetričnih komponenti zasniva se na IPT-u. Prema ovoj teoriji, pk-snage se izračunavaju i njihovi AC i DC-termini se trenutno razdvajaju. Nakon toga, DC-termini se

konvertuju u strujni referentni okvir -prikazano je na slici 3 da bi se izračunale komponente direktnog napona. U IPT-u, trenutne snage se izračunavaju iz $\alpha\beta$ -okvira.



Slika 3: Sistem za ekstrakciju simetričnih komponenti.

Napon napajanja u $\alpha\beta$ -okviru može se zaključiti da je:

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{(i_\alpha^2 + i_\beta^2)} \begin{bmatrix} i_\alpha & i_\beta \\ i_\beta & -i_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Formula (7) je opšta formulacija koja omogućava određivanje $\alpha\beta$ -napona. Ovaj izraz se može koristiti za određivanje osnovnih komponenti jednosmernog napona korišćenjem struja koje se dobijaju iz direktnog osnovnog sistema i DC-termina povezanih snaga, tj.:

$$\begin{bmatrix} v_{\alpha(d)} \\ v_{\beta(d)} \end{bmatrix} = \frac{1}{(i_\alpha'^2 + i_\beta'^2)} \begin{bmatrix} i_\alpha' & i_\beta' \\ i_\beta' & -i_\alpha' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{p}' \\ \bar{q}' \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Struje i_α' i i_β' odgovaraju osnovnim jednosmernim strujama sa amplitudom koja je jedinična i fazom koja je nulta u $\alpha\beta$ -okviru:

$$\begin{bmatrix} i_\alpha' \\ i_\beta' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \omega t \\ \sin \omega t \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Ove struje se takođe koriste za izračunavanje fiktivnih snaga p' i q' . Ove snage nemaju stvarno fizičko značenje, zasnovane su na i_α' i i_β' strujama i na izmerenim naponima $v_{\alpha\beta c}$.

$$\begin{bmatrix} p' \\ q' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha i_\alpha' + v_\beta i_\beta' \\ v_\beta i_\alpha' - v_\alpha i_\beta' \end{bmatrix} \quad (10)$$

Fiktivna aktivna snaga p' može se detaljno opisati na sledeći način:

$$\begin{aligned}
 p' &= v_{\alpha} i'_{\alpha} + v_{\beta} i'_{\beta} \\
 &= \sum_{n=1}^N \begin{bmatrix} \cos(n-1)\omega t & \sin(n-1)\omega t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3V_{dn} \cos \phi_{n(d)} \\ -3V_{dn} \sin \phi_{n(d)} \end{bmatrix} \\
 &+ \sum_{n=1}^N \begin{bmatrix} \cos(n+1)\omega t & \sin(n+1)\omega t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -3V_{in} \cos \phi_{n(i)} \\ +3V_{in} \sin \phi_{n(i)} \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{11}$$

Formula (11) je zbir harmonijskih komponenti koje se mogu prepisati linearno odvojjom jednačinom:

$$y = x^T W \tag{12}$$

$$x = x(t) = \begin{bmatrix} \cos(n-1)\omega t \\ \sin(n-1)\omega t \\ \cos(n+1)\omega t \\ \sin(n+1)\omega t \end{bmatrix}; W = \begin{bmatrix} 3V_{dn} \cos \phi_{n(d)} \\ -3V_{dn} \sin \phi_{n(d)} \\ -3V_{in} \cos \phi_{n(i)} \\ 3V_{in} \sin \phi_{n(i)} \end{bmatrix} \tag{13}$$

za:

Formula (11) se uči i aproksimira pomoću Adalinove neuronske mreže. Ako je y u (12) izlaz Adaline, njegov ulazni vektor je x koji se sastoji od sintetizovanih sinusoidnih signala višestrukih od osnovne komponente. Adaline se zasniva na nadgledanom učenju, a njegov izlaz

y_k se poredi sa primerom, tj. željenom vrednošću koja se dobija sa fiktivnim strujama i izmerenim naponima v_{abc} prilikom rada (11). Greška $\varepsilon = p' - i$ koristi optimalni algoritam učenja LMS (najmanji srednji kvadrat) za korekciju Adaline težine v za vreme uzorkovanja[9]. Pod ovim uslovima, Adaline težine v su prinuđene da konvergiraju. Nakon obuke, elementi v predstavljaju amplitude snage koje su rezultat direktnih napona na frekvenciji $n\omega$ i struja datih pomoću formule (9).

Osnovni direktni naponi $v_{abc(d)}$ trofaznog sistema se dobija korišćenjem prva dva elementa vektora težine w . $w(1)$ i $w(2)$ odgovaraju osnovnoj komponenti ($n=1$) i predstavljaju redom DC-delove trenutnih snaga \bar{p}' i \bar{k}' . Napon $v_{abc(d)}$ se dobija pretvaranjem ovih kontinualnih snaga u $\alpha\beta$ -naponskom prostoru pomoću formule (8) i njihovim množenjem sa T_{32} .

Fiktivna reaktivna snaga q' se razvija po istom principu korišćenjem struja definisanih u formuli (14). Rezultujući izraz Adaline, a osnovne komponente inverznog napona $v_{abc(i)}$ mogu se zaključiti iz njene dve prve težine.

$$\begin{bmatrix} i'_{\alpha} \\ i'_{\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\omega t) \\ -\sin(\omega t) \end{bmatrix}. \tag{14}$$

Osnovne komponente direktnog i inverznog napona $v_{abc(d)}$ i $v_{abc(i)}$ mogu se koristiti za dedukciju komponenti napona nulte sekvence $v_{abc(0)}$. Takođe ih može koristiti algoritam za detekciju faze kako bi se procenila frekvencija elektroenergetskog sistema u realnom vremenu.

4.2. Predložena trenutna detekcija faze

Autori[3] su predložili zanimljivo kolo za izdvajanje frekvencije iz trofaznog sistema. Ovaj pristup određuje frekvenciju i fazni ugao iz komponenti direktnog napona trofaznog generičkog ulaznog signala. Ove komponente direktnog napona se mogu postići prethodno razvijenom metodom ekstrakcije neuronskih simetričnih komponenti.

Sada predstavljamo alternativno rešenje koje je poboljšani algoritam trenutne detekcije faze koji se može primeniti na sve neuravnotežene poremećene trofazne sisteme. Može se primeniti na svaki generički ulazni signal, odnosno na napone ili struje koje se emituju iz trofaznog sistema.

Kao i jednofazni VCO, predloženi pristup pokušava da zadrži termin $\sin(\theta_d - \hat{\theta}_d)$ blizu nule, gde je θ_d fazni ugao sistema, a $\hat{\theta}_d$ njegova procena.

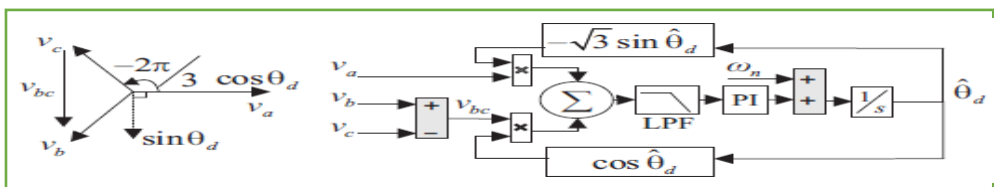
Razvoj ovog pojma dovodi do:

$$\sin(\theta_d - \hat{\theta}_d) = \sin \theta_d \cos \hat{\theta}_d - \cos \theta_d \sin \hat{\theta}_d. \quad (15)$$

U ovom izrazu, termin $\cos \theta_d$ se može povezati sa v_a , osnovnim naponom faze a, a $\sin \theta_d$ se može asociirati na napon $v_{bc}/\sqrt{3}$ između faza b i c.

U slučaju neuravnoteženih i izobličenih sistema, komponente visoke frekvencije se filtriraju sa LPF unutar VCO. Ovaj VCO koristi PI regulator koji je zasnovan na nominalnom

$\omega_n = 2\pi f_n$. On daje procenu θ_d , tj. $\hat{\theta}_d$. Kompletan funkcionalni blok dijagram ovih razvoja prikazan je na slici 4.



Slika 4: Predložena trenutna detekcija faze.

Ovaj prošireni PLL nije osetljiv na izobličenja u talasnim oblicima napona i može da radi u neuravnoteženim i izobličenim uslovima. Međutim, njegov LPF i njegov PI regulator uvode odloženi odgovor. Alternativno i brzo rešenje je neuronski pristup.

4.3. Neuralna adaptivna faza detekcije

Detekcija neuralne adaptivne faze je inspirisana [10]. Ovaj neuronski pristup koristi osnovnu komponentu direktnog napona $v_{a(d)}$ procenjenju prethodno predloženom metodom ekstrakcije neuralnog simetričnog napona.

Komponenta jednosmernog napona može se izraziti u trenutku t u veoma opštem obliku za jednu fazu. Na primer, za fazu a:

$$v_{a(d)}(t) = \sqrt{2}V_{d1} \cos \theta_d. \quad (16)$$

Izražavanje $v_{a(d)}(t-1)$ i $v_{a(d)}(t-2)$ dovodi do iterativnog izraza (16) koji je:

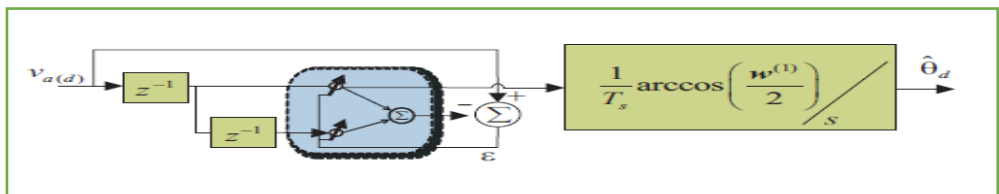
$$v_{a(d)}(t) = (2 \cos \omega T_s)v_{a(d)}(t-1) - v_{a(d)}(t-2) \quad (17)$$

gde je T_s period uzorkovanja ove diskretne formulacije ($t = kT_s$). Formula (17) je linearno odvojiva jednačina koja se može formulisati kao (12) i koja se stoga može proceniti pomoću Adaline. Odabirom $v_{a(d)}(t)$ kao željenog izlaza i korišćenjem ulaznog vektora $x = [v_{a(d)}(t-1) \ v_{a(d)}(t-2)]^T$, Adaline vrši procenu $v_{a(d)}(t)$. Kroz LMS, težine se konvergiraju na

$w = [2 \cos(\omega T_s) \ -1 \]^T$ i pulsiranje se može dobiti iz $w^{(1)}$, prvog elementa w :

$$\omega = \frac{1}{T_s} \arccos \frac{w^{(1)}}{2}$$

Funkcionalni blok dijagram ovog pristupa zasnovanog na Adalini je prikazan na slici 5 koja takođe pokazuje kako se $\hat{\theta}_d$ izdvaja iz prve težine Adaline.



Slika 5: Neuralni princip ekstrakcije

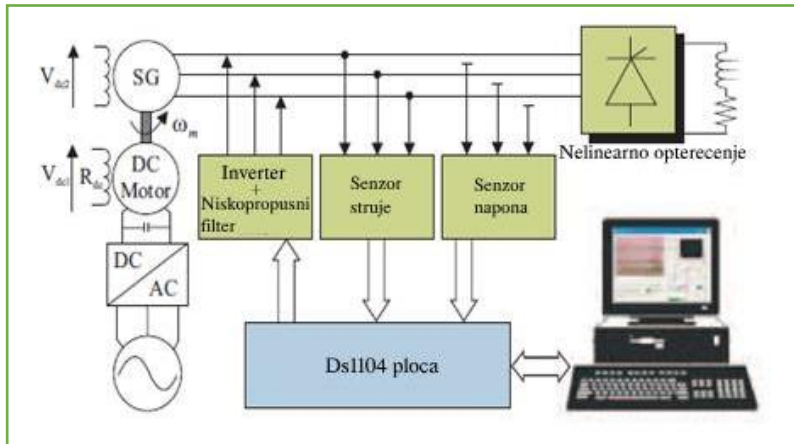
Treba primetiti da ω zavisi od T_s . Na performanse ovog pristupa utiče izbor T_s . Ovo nije slučaj kada se koristi predložena metoda ekstrakcije neuronskih simetričnih komponenti pre ovog brzog i jednostavnog neuralnog pristupa.

5. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

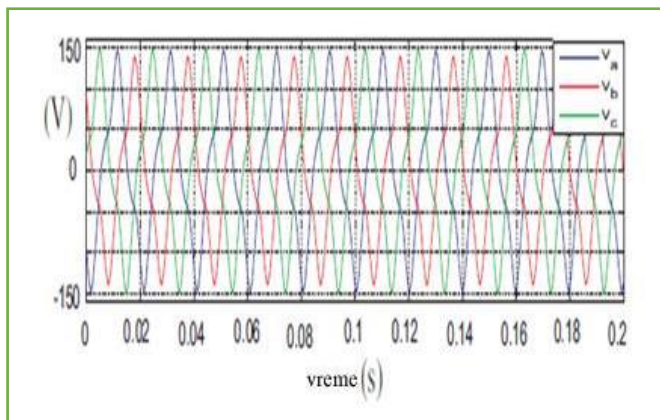
Da bi se procenio učinak predloženog neuronskog PLL-a, potrebna su eksperimentalna poređenja sa konvencionalnim PLL-om u iskrivljenom referentnom okviru. Glavna eksperimentalna postavka je opisana na slici 6. Trofazni sistem za distribuciju električne

energije se napaja od sinhronog generatora (SG) koji pokreće pomoću DC motora. Promena struje DC motora omogućava modifikaciju frekvencije trofaznih napona koji snabdevaju sistem distribucije energije. Ovi naponi su takođe izobličeni harmonicima kao što je prikazano na slici 7.

Metoda ekstrakcije komponenti neuronskog napona i različiti PLL su implementirani na DSP *dSPACE* ploči (DS1104) sa periodom uzorkovanja $T_s = 0,3 \text{ ms}$. Predložene metode su upoređene sa konvencionalnim PLL sa PI kontrolerom sa sledećim parametrima: $K_p = 0,3$ i $K_i = 0,02$.



Slika 6: Eksperimentalna platforma.



Slika 7: Talasni oblici napona napajanja trofaznog elektroenergetskog sistema.

5.1. Ekstrakcija komponente jednosmernog napona

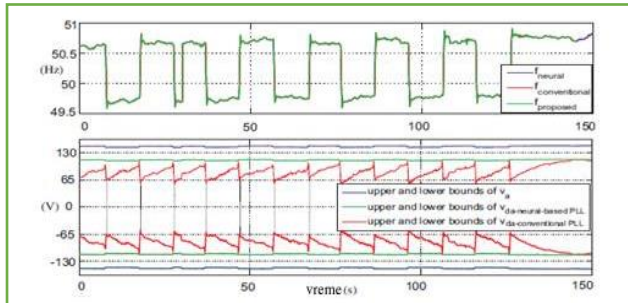
Predložene metode su primenjene da bi se trenutno procenile komponente jednosmernog napona i frekvencija. Frekvencija je zatvorena u $49,7 < f < 50,7 \text{ Hz}$ i periodično se prebacuje između srednje niske i gornje granice.

Rezultati su ilustrovani slikom 8. Komponente direktnog napona dobijene neuralnim pristupom razvijenim u odeljku III-A prikazane su na slici 8. Ova slika prikazuje konture napona za jednu fazu: početni napon izmeren u sistemu distribucije energije v_a , i $v_a(d)$ procenjen predloženim

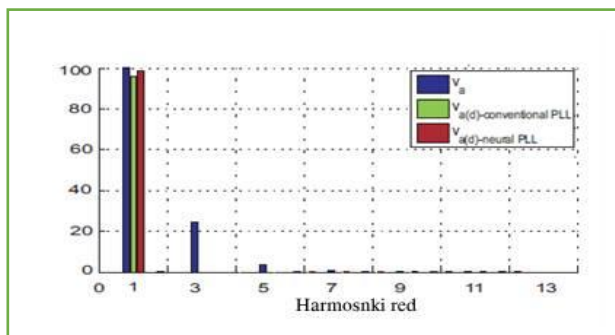
neuronskim pristupom i konvencionalnim PLL. Primećujemo da komponenta napona procenjena neuronskim pristupom ima istu konturu kao profil napona izvora. Može se videti da je neuronski pristup veoma brži od konvencionalnog PLL-a. Komponente direktnog napona se dobijaju za manje od 100ms sa neuronskim pristupom, dok je konvencionalnom PLL potrebno približno 20 sekundi da dostigne stabilno stanje. Performanse konvencionalnog PLL-a u velikoj meri zavise od vremena odziva LPF i PI regulatora.

Kvalitet procenjenih komponenti napona može se oceniti njegovom frekvencijskom reprezentacijom. Na slici 9 prikazana je frekvencija spektra ovih napona u stacionarnom stanju, odnosno za $140 \leq t \leq 150$ s. Ako izvorni napon efektivno sadrži harmonike (uglavnom ranga 3 i 5), to nije slučaj komponente jednosmernog napona procenjene pomoću ove dve metode. Vidi se da je fundamentalna komponenta bolje procenjena neuronskim pristupom nego konvencionalnom metodom. Greške su manje od 1% i 4%.

Rezultati praćenja frekvencije su prikazani na slici 8. Frekvencija trofaznog sistema za distribuciju električne energije je procenjena pomoću dekompozicije sa neuralnim PLL predstavljenim i sa konvencionalnim PLL. Tri metode daju zadovoljavajuću procenu, međutim, procenjena frekvencija postignuta neuralnim PLL je bolja u smislu robusnosti i brzine. Sa svojim adaptivnim mogućnostima, neuronski PLL je u stanju da prati korak frekvencije veoma precizno i bez ikakvog prekoračenja.



Slika 8: Praćenje frekvencije i ekstrakcija komponenti direktnog napona.

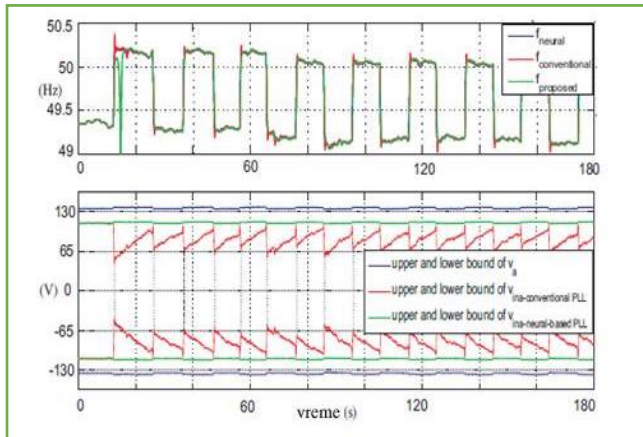


Slika 9: Frekvencijski spektar komponente jednosmernog napona.

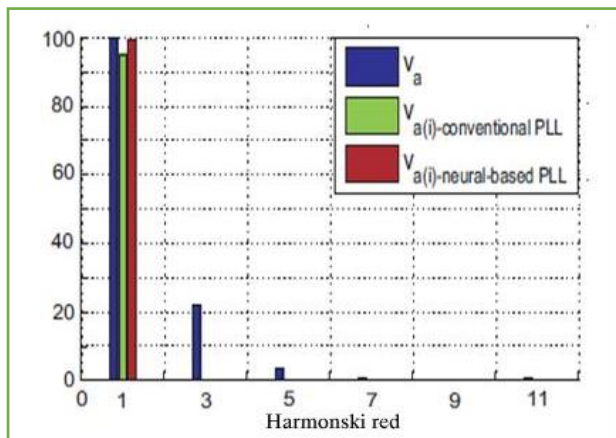
5.2. Ekstrakcija komponente inverznog napona

Komponente inverznog napona su takođe ekstrahovane predloženim metodama. Rezultati su prikazani na slici 10. gde se može videti da je metoda ekstrakcije neuronskih simetričnih komponenti brža od konvencionalne PLL sa LPF i PI regulatorom. Performanse se procenjuju kroz spektralnu reprezentaciju prikazanu na slici 11. Osnovna komponenta je procenjena neuronskim pristupom sa greškom od 1% i sa greškom od 4% sa konvencionalnim PLL.

Rezultati procene frekvencije sa tri metode prikazani su na slici 10. Neuralni PLL pruža bolju procenu od predloženog algoritma trenutne detekcije faze i od konvencionalnog PLL-a u smislu robusnosti, performansi i brzine. Važan faktor koji utiče na performanse metoda je računarsko vreme koje svaki troši. Transformacije između različitih referentnih okvira (iz abc - u $\alpha\beta$ -okvir, iz $\alpha\beta$ - u dq -okvir, i obrnuto) zahtevaju nezanemarljive računarske troškove. Štaviše, metode koje koriste LPF i PI regulator se karakterišu inherentnim vremenskim kašnjenjima. S druge strane, neuronski PLL je u stanju da reaguje trenutno. Adaline učenje je funkcija linearne regresije, njena konvergencija je brza i težine se iterativno koriguju kako bi se isporučio precizan i ažuran rezultat.



Slika 10: Praćenje frekvencije i ekstrakcija komponenti inverznog napona.

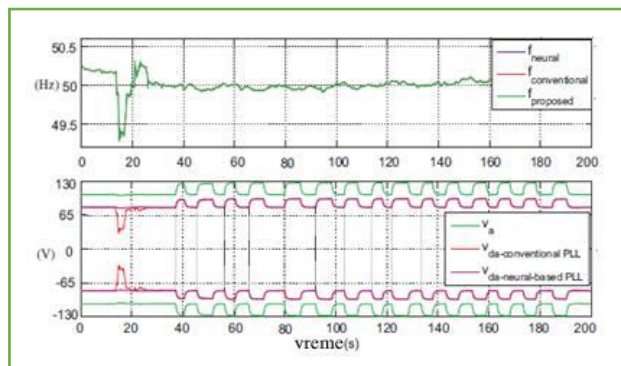


Slika 11: Frekvencijski spektar inverznih napona.

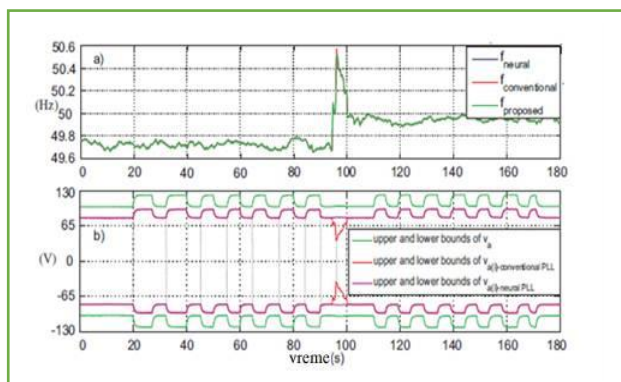
5.3. Neuronske simetrične komponente i procena frekvencije sa padovima napona

Prethodni eksperimenti su koristili trofazni sistem napona sa konstantnom amplitudom. U narednim eksperimentima menjaju se frekvencija ali i trofazni naponi. Amplituda napona se periodično menja i frekvencija neznatno varira oko 50 Hz i naglo se menja na $t = 13$ s.

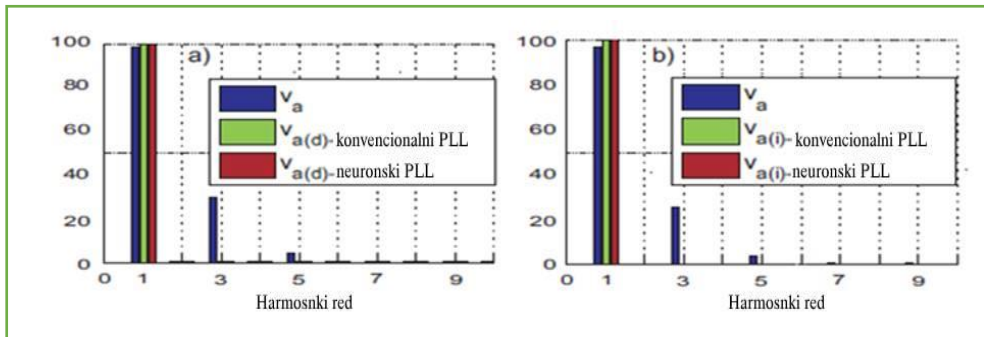
Cilj je da se proceni robusnost predloženih metoda u ovim uslovima. Slika 12 prikazuje napon i frekvenciju. Naponi su predstavljeni samo njihovim konturama za jednu fazu. Prikazane su procene v_a i metodom ekstrakcije neuronskih simetričnih komponenti i konvencionalnim PLL. Komponenta direktnog napona procenjena konvencionalnim PLL-om je bliska proceni dobijenoj sa neuralnim PLL-om kada frekvencija neznatno varira. Međutim, u slučaju nagle promene frekvencije, estimator neuronskih simetričnih komponenti je u stanju da trenutno isporuči brzu i tačnu vrednost napona, a konvencionalnom PLL-u je potrebno nekoliko sekundi da bi proizveo preciznu procenu napona. U osnovi, PI regulator umetnut u konvencionalni PLL nije potreban kada je frekvencija stabilna. Naprotiv, PI regulator u suštini radi da tako poništi grešku procene frekvencije i stoga uvodi vremensko kašnjenje. Isti komentari važi i za ekstrakciju komponenti inverznog napona što je ilustrovano na slici 13. Ako su procene frekvencije prihvatljive sa metodama koje se istražuju, neuronski PLL sa svojim odgovorom i njegovim sposobnostima učenja je najprecizniji estimator pod promenama napona i frekvencije.



Slika 12: Procena frekvencije i direktnog napona sa varijacijama amplitude.



Slika 13: Procena frekvencije i inverznog napona sa varijacijama amplitude



Slika 14: Frekventijski spektar procenjenih napona: a) spektar komponente direktnog napona, b) spektar komponente inverznog napona.

6. ZAKLJUČAK

U radu je opisan trofazni neuronski pristupom za procenu faznih i simetričnih komponenti. Prvo je razvijena ekstrakcija neuronskih simetričnih komponenti napona. Ovaj metod koristi fiktivne izraze trenutnih aktivnih i reaktivnih snaga koje na mreži uče dve Adaline procene da bi procenile komponente direktnog i inverznog napona. Ovi naponi se zatim koriste tehnikom faze detekcije kako bi se precizno procenila frekvencija. Eksperimentalni rezultati su pokazali mogućnosti predloženog pristupa.

Ovakav neuronski pristup funkcioniše ispravno, izdvajajući osnovne komponente napona i procenjujući fazu vremenski promenljivog trofaznog sistema napajanja koji je pod uticajem harmonika, slučajnim šumom i padovima napona izvora. Možemo zaključiti da je predloženi pristup adekvatan za kompenzaciju harmonijske struje u realnom vremenu u šemama filtriranja aktivne snage.

Cela neuronska arhitektura implementirana na procesoru digitalnog signala (DSP) i primenjena je na trofazni sistem napajanja.

PLL je od izuzetnog značaja u elektroenergetskim sistemima. Primene obuhvataju kontrolu sinusoidnih invertera, kontrolu pogona, identifikaciju harmonijskih struja, kompenzaciju neravnoteže u trofaznim sistemima, itd.

Reference:

- [1] G.-C. Hsieh G. C., Hung J. C. (1996). Phase-locked loop techniques. A survey, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 43, No. 6, pp. 609-615.
- [2] Akagi H. (2005). *Active Harmonic Filter*, Proceedings of the IEEE, Vol. 93, No. 12, pp. 2128-2141.
- [3] Akagi H., Watanabe E. H., Aredes M. (2007). *Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning*, Wiley-IEEE Press.
- [4] Mekri F., Machmoum M., Mazari B., Ahmed N. A. (2007). Determination of Voltage References for Series Active Power Filter Based on a Robust PLL System, in International Symposium on Industrial Electronics (ISIE'2007), Vigo, Spain.
- [5] Kim Y. M., Kim K. S., Kwon B. K., Choi C. H. (2008). *A Fast and Robust PLL of MCFC PCS under Unbalanced Grid Voltages*, IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp. 4712-4716, Rhodes, Greece.
- [6] Bose B. K. (2007). *Neuralne mrežne aplikacije u energetskej elektronici i pokretačima motora – Uvod i perspektiva*. IEEE transakcije o industrijskoj elektronici, Br. 1, str. 14-33.
- [7] Widrow B., Walach E. (1996). *Adaptive Inverse Control*, Prentice Hall.

- [8] Ould Abdeslam D., Merckle J., Flieller D., Chapuis Y. A. (2007). A Unifield Artificial Neural Network Architecture for Active Power Filters, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 54, No. 1, pp. 61-76.
- [9] Haykin S. (1999). Neural Networks - A Comprehension Foundation, Prentice Hall.
- [10] Dash P. K., Swain D. P., Routray A., Liew A. C. (1997). An adaptive neural network approach for the estimation of power system frequency, Electric Power Systems Research, Vol. 41, No. 3, pp. 203-210.



XVI međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2024

Banja Luka, 27 - 28. 9. 2024. godine



MOGUĆNOST UPOTREBE VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U UTVRĐIVANJU VALIDNOSTI STUDENTSKIH ESEJA NA ENGLESKOM JEZIKU

Katarina Držajić Laketić

Panevropski univerzitet Apeiron, katarina.p.drzajic@apeiron-edu.eu

Apstrakt: *U eri vrtoglavog napretka veštačke inteligencije suočavamo se problemom ugroženosti akademskog integriteta i plagijarizma. Iako promovisani kao asistenti čoveku u svakodnevnom radu, alati veštačke inteligencije se naširoko zloupotrebljavaju. Između ostalog, ovo se ogleda u tendencijama studenata da zanemaruju kreativnost i ne oslanjaju se na kritičko razmišljanje, budući da ih par klikova deli od rešenja velikog broja zadataka na studijama. Podstaknuti tendencijom zloupotrebe AI alata u rešavanju testova iz predmeta engleski jezik, naročito eseja, u ovom radu pokušaćemo da otkrijemo koliko su pouzdani alati detekcije AI u svrhu otkrivanja plagijata, odnosno mogućnosti dokazivanja zloupotrebe AI u cilju zaobilaznja poštovanja akademskih pravila.*

Ključne reči: *veštačka inteligencija, engleski jezik, esej, plagijat*

1. UVOD

Veštačka inteligencija (AI) nesumnjivo uvodi revoluciju u mnoge industrije, dok se čini da etičnost iste nije u dovoljnoj meri adresirana. U kontekstu akademskog integriteta ista predstavlja i mogućnost i izazov. Iako može pomoći u identifikaciji i sprečavanju nepoštenog postupanja, njena upotreba takođe postavlja etička pitanja, posebno kada je u pitanju privatnost i nadzor nad akademskim radom.¹

U relevantnoj literaturi ističe se da se osiguranje poštenja u akademskom radu oslanja na uspostavljanje kulture integriteta i saopštavanja jasnih očekivanja za etičko ponašanje, ali se usuđujemo da primetimo da temelji etičke upotrebe veštačke inteligencije u akademskom radu nisu u potpunosti uspostavljeni, te su navedeni postulati u praksi još uvek na apstraktnom nivou.

Kada je u pitanju predmet engleski jezik na osnovnim akademskim studijama, primećen je trend zloupotrebe AI u cilju brže izrade zadataka, pri čemu se najviše ističe zloupotreba u cilju pisanja eseja. Ukoliko uzmemo u obzir predvidivost ovih alata u sastavljanju eseja, kao i stručnost profesora da prepozna ovakvu zloupotrebu, istu je vrlo lako uočiti. Međutim, u ovom radu imamo cilj da utvrdimo koliko su pouzdani AI alati za detekciju plagiranog pismenog zadatka u svrhu mogućnosti dokazivanja nevalidnosti određenog rada, nasuprot isključivom oslanjanju na intuiciju profesora.

¹ <https://libguides.unm.edu/AIinEducation/integrity>

2. VEŠTAČKA INTELIGENCIJA U OBRAZOVANJU

Prema istraživanju poslovne društvene mreže Fishbowl koje je obuhvatilo više od 5.000 ispitanika, čak 68% je izjavilo da koristi AI u poslu, bez da o tome obavesti nadređene. Kao glavni razlog navodi se činjenica da u većini kompanija ne postoje norme vezane za upotrebu veštačke inteligence, što navodi zaposlene da radije skrivaju činjenicu da koriste istu.² Istraživanje kompanije BlackBerry navodi da, od 2.000 ispitanih kompanija, čak 75% razmatra zabranu alata ChatGPT u poslovanju, prvenstveno iz straha od širenja poverljivih podataka. Međutim, navodi se da i zabrana upotrebe ovih alata može imati i negativne posledice, budući da može navesti zaposlene da potraže posao u kompaniji koja ne zabranjuje upotrebu alata koji čine obavljanje posla bržim i lakšim.³

Ministarstvo obrazovanja Sjedinjenih Američkih Država u priručniku *Artificial Intelligence and the Future of Teaching and Learning* (Veštačka inteligencija i budućnost nastave i učenja), kao jedan od osnovnih razloga potrebe za brzim usvajanjem AI u nastavi navodi anksioznost stvorenu u pogledu veštačke inteligencije u poslednje dve godine.⁴ Mnoge profesije, uključujući nastavnike, strahuju od sopstvene zamenljivosti. Neke upotrebe AI mogu biti infrastrukturne i nevidljive, što stvara zabrinutost u vezi sa transparentnošću i poverenjem. Zatim, iako naizgled „magično“ pruža neophodne informacije, one često mogu biti netačne i bez ikakve osnove u stvarnosti. Rizik ugrožene privatnosti i bezbednosti podataka nameće se kao jedan od dominantnih, dok prednjači strah o urušavanju obrazovanja usled prevelike dostupnosti podataka i lošijeg angažovanja samih studenata.

Većina studija navodi da je imperativ pozabaviti se upotrebom veštačke inteligencije u obrazovanju što je pre moguće kako bi se iskoristile ključne mogućnosti, sprečili i ublažili nastali rizici i predupredile neželjene posledice, koje, bez obzira na ove tendencije, već osećamo u praksi.

3. KARAKTERISTIKE AI ESEJA NA ENGLJESKOM JEZIKU

Svaki popularniji čet-bot u današnje vremene može napisati članak ili esej u roku od nekoliko sekundi. Iako je možda primamljivo koristiti ove resurse, ovakvi postupci predstavljaju plagijat u akademskom smislu. Državni univerzitet u San Hozeu u Kaliforniji jasno zabranjuje upotrebu AI u pisanju članaka:

- *Obavljanje akademskog rada zahteva da rad koji predajete bude vaš. Rad koji je napisao AI ne smatra se vašim originalnim radom.*
- *Nije važno koji AI program/softver koristite. Korišćenje bilo čega od ovoga za pisanje vaših radova smatra se oblikom plagijata.*

Važno je napomenuti da su alati koji proveravaju vaše pisanje u redu za korišćenje. Primeri mogu obuhvatati funkciju automatskog ispravljanja u Google dokumentima i aplikaciju Grammarly. Ovi alati, koji skeniraju delove pisanja radi grešaka i/ili daju predloge za izmene, veoma se razlikuju od AI programa koji pišu čitave radove. Ključna razlika je u tome što se vaše

² <https://www.bbc.com/worklife/article/20231017-the-employees-secretly-using-ai-at-work>

³ *Ibid.*

⁴ <https://www2.ed.gov/documents/ai-report/ai-report.pdf>

*originalno pisanje skenira za moguće greške u odnosu na AI koja obavlja svo pisanje umesto vas.*⁵

Pored velikog broja raspoloživih alata za detektovanje AI-plagiranih eseja, možemo izdvojiti nekoliko svojstava koji karakterišu ovakve eseje, poput fraziranja, bezličnog tona, neoriginalnosti, nedostatka emotivne dubine, tzv. *ljudskog dodira*. Možemo primetiti da AI-eseji često sadrže ponavljajuće reči i fraze po kojima smo u stanju brzo da procenimo da rad nije originalan. Interesantan je članak koji navodi 100 najpopularnijih reči koje sadrže AI-eseji na engleskom jeziku,⁶ od kojih možemo izdvojiti neke koji se najčešće javljaju u studentskim esejima, poput *elevate, leverage, resonate, delve, navigate, landscape, integrity, resilience...*

4. PRAKTIČNI PRIMERI

Pored praćenja vešte profesorke intuicije, pokušajmo da „dokažemo“ da je studentski esej generisan veštačkom inteligencijom. Za primer uzimamo odlomke iz tri anonimna domaća zadatka predata od strane studenata Univerziteta Apeiron za koje profesor smatra da nisu originalni, ali, u cilju dokazivosti da student nije adekvatno ispunio svoje obaveze, iskoristićemo i AI alat da nam to potvrdi ili opovrgne. Za svaki od tri primera koristimo različiti AI detektor, Grammarly, BypassAI i QuillBot.

Primer 1: Domaći zadatak *My dreams for the future*, u kome je od studenta traženo da opiše svoje planove za budućnost

In the canvas of my aspirations, the vivid strokes are dedicated to a dream deeply rooted in the desire to become a teacher. The vision of standing in a classroom, a beacon of knowledge and inspiration for young minds, fills my heart with purpose. Teaching is not merely a profession in my eyes; it is a calling, a commitment to nurturing the seeds of curiosity and illuminating the path of learning. As a future educator, my aim is to create an inclusive and engaging environment where each child feels seen and valued. I envision a classroom as a dynamic space where knowledge transcends textbooks, and lessons extend beyond the boundaries of traditional subjects. It is a place where creativity and critical thinking intertwine, empowering students to question, explore, and discover the vast world of knowledge. Beyond imparting academic wisdom, my dream as a teacher extends to fostering a sense of compassion, resilience, and respect in my students.

Grammarly: 100% teksta deluje kao AI-generisano

Primer 2: Domaći zadatak *Film review*, u kome studenti treba da napišu svoje utiske o filmu koji su skoro odgledali

The last film i saw was The girl on the train. The movie is a psychological thriller film released in 2016, directed by Tate Taylor. It is based on the 2015 novel of the same name by Paula Hawkins. The film stars Emily Blunt in the lead role as Rachel Watson, with Haley Bennett, Rebecca Ferguson, and Justin Theroux in supporting roles. The story revolves around Rachel,

⁵ <https://www.sjsu.edu/studentconduct/docs/SJSU-Academic-Integrity-Policy-F15-7.pdf>

⁶ <https://aiphrasefinder.com/common-ai-words/>

an alcoholic woman who becomes entangled in a missing person's investigation and starts questioning her own sanity. Haley Bennett played the role of Megan Hipwell, a central character in the film. Megan is a complex and mysterious woman whose life becomes intertwined with Rachel's in unexpected ways. Bennett's portrayal of Megan adds layers to the character, capturing both her vulnerability and the enigma that drives the plot forward. As I delved into "The Girl on the Train," I found myself immersed in a chilling and suspenseful narrative that skillfully navigated the complexities of human relationships.

QuillBot: 100% teksta je verovatno AI-generisano

Primer 3: Domaći zadatak u kome je od studenata traženo da se prijave na zamišljeni konkurs za studije u inostranstvu

I trust this email finds you well. My name is _____ and I am writing to express my sincere interest in faculty of information technologies and to provide you with some information about myself. I am currently residing in Banja Luka, and I have recently come across faculty of information technologies while researching educational institutions in York. I am impressed by the school's reputation for academic excellence and its commitment to fostering a supportive learning environment.

Bypass AI: Verovatnoća je 85% da je dati sadržaj napisao čovek

U prva dva primera AI alat nam je dao jasan odgovor da sadržaj nije napisao student, tj. da je tekst automatski generisan, što možemo uočiti na osnovu karakterističnog vokabulara, obiljem tehničkih informacija, kompleksnih fraza koje u sebi ne sadrže suštinske značenje i opšteg bezličnog tona u izražavanju. Treći primer se razlikuje od prva dva budući da je alat naveo da je veća verovatnoća da je sadržaj originalan, bez obzira što sadrži generički vokabular često svojstven AI-radovima (*reputation for academic excellence, commitment to fostering a supportive learning environment*). Treba napomenuti da ovi resursi ne mogu ponuditi 100% tačan odgovor u smislu detekcije veštačke inteligencije, ali smatramo da je verovatnoća koju nude dovoljna da potvrde sumnju nastavnika da se radi o eseju koji predstavlja plagijat.

5. ZAKLJUČAK

Ukoliko pitamo veštačku inteligenciju kako ona ugrožava akademski integritet, odgovor će biti da je to usled plagijata, nedostatka originalnosti i ugrožavanja kritičkog mišljenja, dok se rešenje ogleda u tome da studente treba edukovati o poštenim akademskim praksama, uvesti odgovarajuća tehnološka rešenja i obučiti nastavno osoblje o etičkoj upotrebi AI u nastavi.

Pojedine visokoškolske ustanove navode da je dozvoljeno koristiti program ChatGPT kao dopunu u izvršavanju zadataka, a ne kao zamenu za originalnost i intelektualno angažovanje. Studenti moraju jasno da navedu da koriste ovaj alat, moraju ga citirati kao spoljni izvor i moraju uključiti paragraf koji objašnjava za šta su koristili AI, koje promptove su koristili radi dobijanja rezultata, te ovo obrazloženje moraju napisati oni, a ne AI.⁷

⁷ <https://libguides.unm.edu/AIinEducation/integrity>

Smatramo da u radu svake akademske ustanove moraju postojati stroge smernice koje se tiču upotrebe veštačke inteligencije u radu, te da većina smernica za sada deluje suviše apstraktno da bi se primenila na određene predmete. Predmet Engleski jezik je posebno osetljiv budući da se radi o preko potrebnoj veštini koju svršeni studenti moraju demonstrirati na tržištu rada, te su nerealni rezultati ispita iz ovog predmeta usled neetičkog postupanja veoma štetni u daljoj perspektivi. Iako su isti atraktivni usled generisanja rezultata u par klikova, smatramo da se, do momenta adaptacije visokoškolskih ustanova na novu realnost u doba veštačke inteligencije, upotreba AI alata u svrhe izrade domaćih zadataka i testova mora sankcionisati. Visoko obrazovanje mora ići u korak sa tehnološkim trendovima bez ugrožavanja etičnosti i akademskom integriteta, a čini se da neophodno implementirati još mnogo mera kako bi se postigao balans ovih faktora.

REFERENCE

- [1] San Jose State University, *University Policy, Academic Integrity*, San Jose, California, 2023.
- [2] U.S. Department of Education, Office of Educational Technology, *Artificial Intelligence and Future of Teaching and Learning: Insights and Recommendations*, Washington, DC, 2023.
- [3] <https://aiphrasefinder.com/common-ai-words> (pristupljeno septembra 2024)
- [4] <https://www.bbc.com/worklife/article/20231017-the-employees-secretly-using-ai-at-work> (pristupljeno septembra 2024)
- [5] <https://libguides.unm.edu/AIinEducation/integrity> (pristupljeno septembra 2024)
- [6] <https://www.grammarly.com> (pristupljeno septembra 2024)
- [7] <https://bypassai.ai> (pristupljeno septembra 2024)
- [8] <https://quillbot.com> (pristupljeno septembra 2024)



XVI međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2024

Banja Luka, 27 - 28. 9. 2024. godine



PRIMJENA CHATBOT TEHNOLOGIJE U ELEKTRONSKOM POSLOVANJU

Filip Mitrović¹ Dalibor P. Drljača^{1,2}

¹Panevropski Univerzitet Apeiron, ²Univerzitetski klinički centar Republike Srpske
Corresponding author: filip.mitrovic@apeiron-edu.eu

Apstrakt: Upotreba vještačke inteligencije u elektronskoj trgovini postala je ključni faktor u optimizaciji poslovnih procesa i poboljšanju korisničkog iskustva. Ovaj rad istražuje primenu vještačke inteligencije u okviru sistema za preporuke proizvoda, usluga ili sadržaja, koji omogućavaju personalizovanu interakciju sa korisnicima. Fokus rada je na algoritmima koji stoje iza sistema preporuka, poput kolaborativnog filtriranja, sadržajno zasnovanih preporuka i hibridnih modela. Analiziraju se tehnike koje omogućavaju predikciju preferencija korisnika na osnovu istorije kupovina, pretraživanja i demografskih podataka. Posebna pažnja posvećena je izazovima kao što su obrada velikih količina podataka, tačnost preporuka i zaštita privatnosti korisnika. Na kraju, rad daje pregled trenutnih trendova i budućih mogućnosti u ovoj oblasti, uz naglasak na način kako AI pomaže kompanijama da poboljšaju prodaju i zadrže korisnike kroz efikasne preporuke.

Ključne riječi: Vještačka inteligencija, chatbot, elektronsko poslovanje.

1. UVOD

U današnje vrijeme, karakterisano elektronskim poslovanjem koje je pomognuto velikim brojem savremenih tehnologija, poslovanje uopšte mijenja svoje karakteristike. Poslovanje svih vrsta preduzeća je primorano na primjenu ovih tehnologija kako bi opstalo na tržištu ili unaprijedilo svoje poslovanje na način na koji to ove tehnologije omogućavaju. Ključne tehnologije koje omogućavaju ovakav napredak su tehnologije vještačke inteligencije.

Vještačka inteligencija je grana informacionih tehnologija koji se bavi razvojem mašine sa softverom koji će izvršavati zadatke koji inače rješavaju ljudi. Osnovna podjela vještačke inteligencije je na: slabu, jaku i vještačku superinteligenciju. [1] Slaba vještačka inteligencija je jedini tip vještačke inteligencije koji danas postoji i nije u potpunosti inteligentna i autonomna. Slabi modeli simuliraju inteligentno ponašanje i izvršavaju zadatke za koji su napravljeni, često mnogo bolje i brže od ljudi. Neki primjeri slabe vještačke inteligencije su: [1]

1. *Siri* – Virtuelni asistent za podešavanje alarma, pružanje vremenske prognoze itd.
2. *ChatGPT* – napredni *chatbot*, robot koji simulira razgovor sa osobom.

Jaka vještačka inteligencija i vještačka inteligencija trenutno postoje samo kao teoretski koncepti. Jaka vještačka inteligencija bi trebala izvršavati zadatke bez ljudske intervencije na osnovu prethodno usvojenog znanja i vještine dok vještačka superinteligencija bi imala i emocije, vjerovanja, strasti i druge osobine koje ljude izdvajaju od ostalih bića.

Elektronsko poslovanje predstavlja interni ili eksterni poslovni proces koji se izvršava pomoću računarskih mreža. Ovaj oblik poslovanja je nastao upotrebom novih tehnologija što je dovelo do suštinskih promjena u poslovnim procesima. Upotreba informacionih tehnologija u poslovanju pruža potencijal uštede novca i vremena kao i stvaranja prilika za zaradu. Pored toga pruža mogućnost proširenja poslovanja i boljeg konkurisanja na tržištu. Najčešće se ove tehnologije koriste za razvoj novih proizvoda ili istraživanje tržišta za iste, oglašavanje proizvoda itd. Pristupačnost alata i tehnologija iz ove oblasti omogućuju kompanijama svih nivoa da bolje konkurišu na tržištu. Kako bi kompanije ostale relevantne na tržištu moraju pratiti najnovije tehnologije i primjenjivati iste kako bi savladali konkurenciju. [2]

Marketing i saradnja s potrošačima predstavljaju ključne procese savremene prodaje na internetu. Ovi poslovni procesi se u preduzećima danas moraju pažljivo planirati, kako u smislu strategije koja će biti primjenjena, tako i u smislu tehnologija koje će podržati aktivnosti planirane strategijom. Ovaj rad daje uvid u primjenu chatbot tehnologije u savremenom poslovanju na internetu, ali i mobilnim uređajima koji su postali dio naše svakodnevnice i obavezni predmet.

2. ANALIZA PRIMJENE *CHATBOT* TEHNOLOGIJE U ELEKTRONSKOM POSLOVANJU

Kako se vještačka inteligencija sve više razvija tako u sve većoj mjeri pronalazi svoju upotrebu u elektronskom poslovanju. Samo neke od primjena koje ima su: *chatbot*-ovi, preporuke proizvoda, usluga i sadržaja, određivanje cijene, virtuelna pretraga, privatnost i sajber bezbjednost.

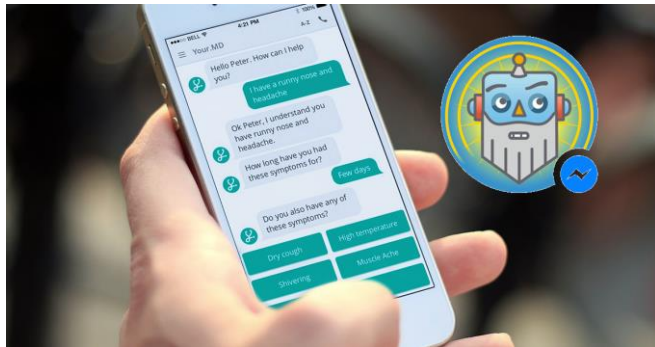
Chatbot, istorijski gledano, je relativno mlada oblast koja je prvi put poprimila oblik 1966. godine, kada je Jozef Vajzenbaum (engl. *Joseph Weizenbaum*) kreirao računarski program „ELIZA“ koji je na osnovu prepoznavanja ključnih riječi i predefinisano toka razgovora mogao voditi ograničen razgovor sa korisnikom. Ovaj računarski program je imao upitan uspjeh i mnogo nedostataka. Kao preteča ove tehnologije pokazao je potencijal komunikacije između čovjeka i računara gdje računar koristi ljudski prirodni jezik. [3]

U posljednje vrijeme ubrzan je razvoj zbog kojeg je poboljšana interakcija *chatbot*-ova i sa tim se povećava njihova primjena u elektronskom poslovanju. Za razliku od uvodnih *chatbot*-ova gdje se konverzacija svodila na odgovaranje na jasno definisana jednostavna pitanja kao: „*Kakvi vremenski uslovi će danas biti?*“ današnji *chatbot*-ovi su mnogo kompleksnije građeni. Primjer napretka u ovoj oblasti pokazan je 2014. godine u izvršenom ispitivanju *chatbot*-a „*Eugene*“. Ispitanici su vodili razgovor prema Turingovom testu sa *chatbot*-om i čak trećina ispitanika je zaključila da je sa druge strane razgovora bilo ljudsko biće. [4]

Pored ovog postoji još bolji primjer *ChatGPT*-a, gdje je u samo 10 godina u odnosu na jedan primitivni algoritam kao što je „*Eugene*“ nastao veoma sofisticiran *chatbot*. U ispitivanju, koje je predvodio profesor ekonomije Metju Džekson (engl. *Matthew Jackson*) sa Stanford univerziteta (engl. *Stanford University*) [5] i u kojem se testiralo pomoću Turingovog testa i pet velikih crta ličnosti koje prema istraživanjima u oblasti psihologije predstavljaju osnovne ljudske osobine: ekstraverziju, otvorenost, neuroticizam, saradljivost i savjesnost, zaključeno je da se ponašanje posljednjeg modela *ChatGPT 4* ne razlikuje od ponašanja ljudi i da u slučajevima kada algoritam odabere manje uobičajena ljudska ponašanja više je kooperativan i altruističan. [6] Pored svih uspjeha i sve veće upotrebe i usavršavanja *chatbot*-ovi su daleko od

potpune autonomnosti i sposobnosti da se potpuno i nezavisno prilagođavaju toku razgovora sa ljudima.

Chatbot-ovi se u elektronskom poslovanju najčešće koriste za komuniciranje sa kupcima. Ta komunikacija podrazumijeva otklanjanje osnovnih problema i nejasnoća, pomoć pri upotrebi usluga okruženja koje korisnik koristi i ono što je jako bitno jeste da su dostupni konstantno svim korisnicima. Sve probleme koje ne uspiju riješiti se dalje prosljeđuju ljudskim operatorima, što ukazuje na činjenicu da *chatbot*-ovi ne mogu u potpunosti zamijeniti ali da mogu u velikoj mjeri pomoći ljudima. Ilustracija 1 prikazuje primjer upotrebe *chatbot*-a za aplikaciju u domenu elektronskog zdravstva.



Ilustracija 1. Primjer upotrebe *chatbot*-a u aplikaciji *Your.MD* (izvor : <https://famvin.org/en/files/2017/05/artificial-intelligence-chatbot.png>)

Chatbot tehnologija se koristi i u elektronskom bankarstvu, kao jednoj od oblasti elektronskog poslovanja, gdje služi za poboljšavanje korisničkog iskustva. Može se ugraditi na internet lokaciju, u aplikacije itd. *Chatbot* vrši sledeće usluge [7]:

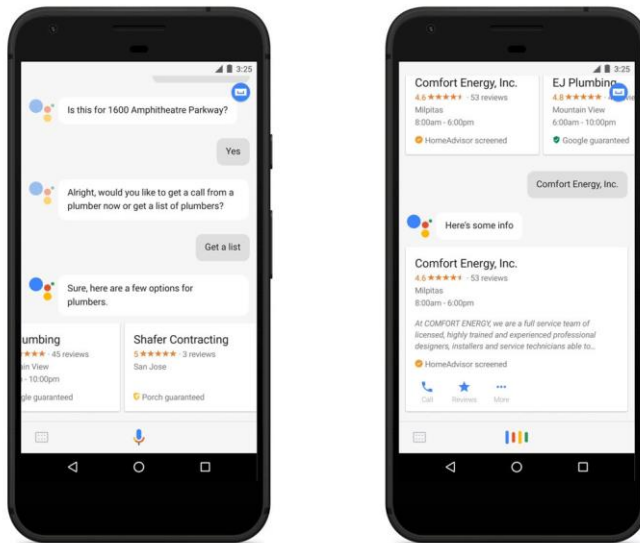
1. Pruža brze odgovore putem poruka na upite klijenata vezane za stanje na računu i izvode;
2. Kod vođenja razgovora o zajmu, *chatbot* pruža sve neophodne informacije za zajam zajmoprincu i navodi ga do personalizovanog rješenja;
3. Pruža pomoć klijentima prilikom plaćanja računa i prebacivanja sredstava sa jednog računa na drugi elektronskim putem;
4. Obavještava klijenta o neizmirenim obavezama, dostavlja obavještenja vezana za kreditne kartice npr. kada ističe ili kada je nova napravljena i može obavijestiti klijente kada se njihova kartica koristi iz sigurnosnih razloga;

U bilo kakvoj od ovih situacija osigurano je čuvanje sadržaja razgovora između klijenta i *chatbot*-a. Gdje *chatbot* nije bio u mogućnosti da pomogne klijentu, veza se usmjerava dalje prema operatoru koji mu pomaže.

3. VIRTUELNA PRETRAGA

Razvijanje tehnologija za prepoznavanje slika (konvulcijske neuronske mreže) i za prepoznavanje prirodnog jezika (rekurentne neuronske mreže) zajedno sa vještačkom inteligencijom se mogu koristiti za virtuelnu pretragu.

Na primjer, kada korisnici vide nešto što žele kupiti uz jednostavnu upotrebu prepoznavanja slika pomoću vještačke inteligencije preko pametnog mobilnog telefona i internet pretraživača, mogu pronaći kroz nekoliko sekundi ono što su tražili. Isto se odnosi i na glasovno pretraživanje pomoću asistenata zasnovanih na vještačkoj inteligenciji, kao što su „Siri“ (kompanija Apple) ili „Google Assistant“, gdje korisnik pomoću glasa može vršiti pretrage željenih stvari, ali i obaviti direktnu kupovinu ukoliko za to postoje ispunjene pretpostavke.



Ilustracija 2. Google Assistant pomaže u pronalazenju vodoinstalatera
(izvor: <https://www.wired.it/mobile/smartphone/2017/12/04/google-assistant-trova-idraulico/>)

Kao što je to prikazano na ilustraciji 2, ove tehnologije ne samo da populaciji olakšavaju elektronsko poslovanje, već pomažu i ljudima koji imaju razne fizičke poteškoće i invaliditet u svakodnevnom aktivnostima, od naručivanja osnovnih životnih namirnica, pa do mogućnosti olakšanog ostvarivanja profita u drugim oblicima elektronskog poslovanja (npr. berzansko poslovanje).

Sundar Pičaj (engl. Sundar Pichai), izvršni direktor kompanije Google, je izjavio na konferenciji za programere „Google I/O 2016“ u 2016. godini da se 20% svih pretraga izvšava pomoću opcije za glasovnu pretragu. Upotreba glasovne pretrage, prema Sundaru, će se povećati u budućnosti jer će razvoj hardvera omogućiti efikasnije primanje glasovnih naredbi i pretragu, a povećaće se broj elektronskih platformi koje će koristiti virtuelnu pretragu. [3]

Kompanija Google je 2016. godine predstavila na tržište svoja dva proizvoda Google Home/Nest i Google Assistant. Prema podacima sa internet lokacije „Statista“ [8] samo u 2018. godini se širom svijeta prodalo oko 12.5 miliona jedinica Google Nest-a, pametnih zvučnika sa ugrađenim mikrofonom koji korisnicima pružaju mogućnost interakcije sa Google Assistant-om, virtuelnim asistentom koji može pretraživati internet, izvržiti narudžbu proizvoda sa interneta itd. Kada se uzme u obzir da kompanija kao Google već ima ovu opciju i da je druge

kompanije, kao Amazon sa svojim proizvodom Amazon Echo itd., prate u razvijanju virtuelnih asistenata i kada uračunamo potencijal i pogodnosti koje ova tehnologija nudi, može se zaključiti da će se virtuelni asistenti sve više usavršavati i koristiti u budućnosti, kako za običnu pretragu interneta, tako i za direktnu kupovinu. [3]

4. ZAKLJUČAK

U kontekstu prednosti možemo reći da je upotreba *chatbot-a* odlična stvar, jer upotrebom vještačke inteligencije u elektronskom poslovanju možemo pojednostaviti i ubrzati mnoge procese. U tom slučaju, zaposleni se usmjeravaju na zahtjevnije poslovne zadatke. Pretraga stvari, npr. uz pomoć vizuelne ili govorne pretrage, danas je podržana vještačkom inteligencijom i time je olakšala i ubrzala sam proces pretrage za korisnika. Kod *chatbot* sistema, kompletna odjeljenja ljudi su zamijenjena sa jednim modelom vještačke inteligencije, koji razgovara na prirodnom jeziku sa ljudima i otklanja njihove probleme, dok je ostalo samo nekoliko ljudskih operatera koji otklanjaju rjeđe i specifične zahtjeve. Pored ovih, postoje razne druge oblasti gdje se može primjenjivati i gdje se vještačka inteligencija već primjenjuje.

Kako bi bila adekvatno obučena, vještačkoj inteligenciji se moraju obezbijediti velike količine podataka za kvalitetno učenje. Kvalitet i relevantnost podataka značajno utiču na kvalitet modela vještačke inteligencije koji se gradi. Iz tog razloga neophodno je modelu pri obučavanju obezbijediti što je moguće kvalitetnije podatke. Podaci lične prirode se mogu koristiti u razne svrhe, ali često te svrhe nisu dobronamjerne, jasno definisane i dostupne korisnicima zbog sistema koji izvršavaju svoje zadatke i nedostataka transparentnosti poslovanja. To ne stvara mnogo povjerenja kod korisnika sistema, i u slučaju da nešto pođe po zlu, postavlja se pitanje ko snosi odgovornost. Zloupotrebom prikupljenih podataka javlja se potencijal ugrožavanja slobode i prava korisnika, jer se može vršiti manipulacija nad njima sa ciljem prodaje proizvoda ili usluga, ili čak sa nekim drugim ciljem koji je na štetu korisnika.

Iako ova tehnologija donosi u raznim aspektima napredak i ogroman potencijal ipak ne dolazi bez izazova sa kojima se moramo suočiti. Osnovna etička pitanja kao narušavanje privatnosti klijenata, zloupotrebavanje ličnih podataka, potencijalni problemi kod zapošljavanja ljudi su samo neka koja se pojavljuju. Za rješavanje svih problema moramo se voditi načelima transparentnosti, odgovornosti i poštenja.

Očigledno je da budućnost donosi još veću upotrebu vještačke inteligencije u elektronskom poslovanju tako da bi bilo mudro pratiti inovacije i pametno i odgovorno implementirati iste u sisteme kako bi nam svima bilo bolje.

Ova tehnologija može biti mač sa dvije oštrice, gdje sa odgovornom upotrebom može donijeti veliki napredak i bolju budućnost, dok njena neogovorna i bezobzirna upotreba stvara potencijal za velike probleme.

Literatura

- [1] IBM Data and AI Team, „Understanding the different types of artificial intelligence,“ IBM - International Business Machines Corporation, 12 October 2023. [Na mreži]. Available: <https://www.ibm.com/think/topics/artificial-intelligence-types>. [Poslednji pristup 1 June 2024].
- [2] Б. Раденковић, М. Д. Зракић, З. Богдановић, Д. Бараћ и А. Лабус, ЕЛЕКТРОНСКО ПОСЛОВАЊЕ, Београд: Факултет организационих наука, Београд, Јове Илића 154, 2015.
- [3] P. Gentsch, AI in MARKETING, SALES and SERVICE: How Marketers without a Data Science Degree can use AI, Big Data and Bots, 1st ed. ur., Cham, Zug: Palgrave Macmillan Cham, 2019.

- [4] University of Reading, „Turing Test success marks milestone in computing history,“ University of Reading, 8 June 2014. [Na mreži]. Available: <https://archive.reading.ac.uk/news-events/2014/June/pr583836.html>. [Poslednji pristup 14 Jun 2024].
- [5] C. Scott, „Study finds ChatGPT’s latest bot behaves like humans, only better,“ Stanford University, 22 February 2024. [Na mreži]. Available: <https://humsci.stanford.edu/feature/study-finds-chatgpts-latest-bot-behaves-humans-only-better>. [Poslednji pristup 14 June 2024].
- [6] Q. Mei, Y. Xie, W. Yuan i M. O. Jackson, „A Turing test of whether AI chatbots are behaviorally similar to humans,“ PNAS, 22 February 2024. [Na mreži]. Available: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2313925121#executive-summary-abstract>. [Poslednji pristup 14 June 2024].
- [7] *Challenger Bank as a New Digital Form of Providing Financial Services to Retail Consumers in the EU Internal Market: The Case of Revolut*, 2020.
- [8] F. Laricchia, „Statista,“ 2024. [Na mreži]. Available: „Google Home unit shipments worldwide from 2016 to 2025*,“ Statista, 14 February 2022. [Na mreži]. Available: <https://www.statista.com/statistics/1022722/worldwide-google-home-unit-shipment/>. [Poslednji pristup 3 July 2024].



XVI međunarodni naučno-stručni skup
Informacione Tehnologije za elektronsko Obrazovanje
ITeO 2024

Banja Luka, 27 - 28. 9. 2024. godine



INFORMATIČKA INTEGRACIJA NAVIGACIONIH SISTEMA U VAZDUHOPLOVIMA

Boris Z. Ribarić

SMATSA, borisribaric87@hotmail.com

Zoran Ribarić

Vazduhoplovna Akademija Beograd, zoran.ribaric1958@gmail.com

Zoran Ž. Avramović

Panevropski univerzitet APEIRON Banja Luka, RS, BiH, zoran.z.avramovic@apeiron-edu.eu

Sažetak: Danas vazdušni saobraćaj predstavlja najvažniji faktor transportnog sistema i ima veliki pozitivan uticaj na svetsku ekonomiju, a po prognozi Airbus-a do 2032. godine očekuje se porast na svetskom nivou od 4,7%. Tokom obavljanja vazdušnog saobraćaja koriste se sofisticirane tehnologije i oprema na zemlji i avionima. Dizajn sistema vazdušnog saobraćaja mora da bude takav da obezbedi bezbedno, redovno i efikasno odvijanje vazdušnog saobraćaja. Prilikom leta vazduhoplova od tačke poletanja do tačke destinacije moraju se koristiti radionavigacioni sistemi u cilju bezbednog i redovnog odvijanja vazdušne plovidbe. Od osnovnih šest radionavigacionih uređaja danas pilot ima preko četrdeset uređaja – sistema koje koristi prilikom leta. Da bi se obezbedila interakcija između uređaja i sistema i čoveka, veoma je važna informatička integracija navigacionih sistema u vazduhoplovima u cilju pomoći pilotu, kao i bezbednosti leta.

Ključne reči: bezbednost, navigacija, informacija, integracija, saobraćaj

1. UVOD – VAZDUŠNI SEGMENT NAVIGACIJE VAZDUHOPLOVA

Pilotu tokom leta su potrebni podaci na osnovu kojih će da odredi svoju trenutnu poziciju u odnosu na zemlju, kao i na osnovu planirane tačke na ruti. Te podatke pilot dobija preko radionavigacionih instrumenata, preko računara dobija parameter leta-pokazivačima računara prezentovane su sve bitne za bezbedno odvijanje leta informacije i parametri.

Sva radio navigaciona sredstva (RNS) predstavljaju sredstva za dobijanje informacije o poziciji vazduhoplova i parametre njegovog kretanja u odnosu na pokretne i nepokretne objekte. Dobijene informacije posada vazduhoplova koristi za rešavanje navigacionih zadataka letenja. Pri tom, posada od RNS dobija i koristi za upravljanje informacije o pravcu na zadani objekat (smer, snimak), rastojanju do izvesnog objekta na zemaljskoj površini kojim određujemo poziciju vazduhoplova, putnu brinu, ugao zanosa, visinu leta, opasnost približavanja, linije poniranja i linije kursa pri prilazu za sletanje. Informacija RNS se formira na osnovu korišćenja svojstva elektromagnetnog polja radio talasa. Elektromagnetno polje omogućuje dobijanje položaja izvora. Odrediti poziciju objekta znači odrediti geometrijsku veličinu koja karakteriše njeno mesto u prostoru ili na ravni.[12]

2. INSTRUMENTI U VAZDUHOPLOVU

Instrumente u vazduhoplovu možemo podeliti prema: upotrebi, principima rada i prema osnovnom mehanizmu.

Klasifikacija prema upotrebi: pilotski instrumenti, motorski instrumenti i navigacioni instrumenti.

2.1. Navigacioni instrumenti

Osnovni instrumenti u avionu - pilotskoj kabini su raspoređeni tako da u uslovima letenja bez spoljne vidljivosti pilot bi mogao pomoću njihovih podataka da kreira sliku o trenutnom položaju, brzini i visini vazduhoplova. Raspored instrumenata u kokpitu se vrši po klasifikaciji pokazivanja: penjanje ili spuštanje, pravolinisjki let ili zaokret i horizontalni let.

Penjanje ili spuštanje pokazuju instrumenti brzinomer i visinomer.

Pravolinijski let ili zaokret pokazuju instrumenti pokazivač skretanja i pokazivač kursa.

Horizontalni let pokazuju instrumenti variometar i veštački horizont.

Osnovnih šest letačkih instrumenata - Basic six:

- brzinomer (engl.Airspeed indicator),
- visinomer (engl.Altimeter),
- veštački horizont (engl.Gyro horizont),
- pokazivač kursa (engl.Course indicator),
- variometar (engl.Vertical speed),
- pokazivač skretanja (engl.Turn/slip).[14]



Slika 1. Osnovnih šest letačkih instrumenata-Basic six

2.2. Brzinomer

U toku kretanje vazduhoplova kroz vazduh izložen je statičkom i dinamičkom pritisku koji se preko pito cevi koja je prijemnik prenose u brzinomer.

Možemo razlikovati dve vrste brzine:

- vazдушna brzina (engl.Airspeed), brzina kojom se vazduhoplov kreće kroz vazduh
- putna brzina - GS (engl.Groundspeed), brzina u odnosu na površinu zemlje.

Vazдушnu brzinu možemo podeliti na:

- instrumentalna vazдушna brzina – IAS (engl.Indicated airspeed),
- kalibrisana vazдушna brzina – CAS (engl.Calibrated airspeed),
- ekvivalentna vazдушna brzina – EAS (engl.Equivalent airspeed),
- stvarna vazдушna brzina – TAS (engl.Treue airspeed),
- Mahov broj – Ma (engl.Mach number).

2.3. Visinomer - Altimeter

To je instrument u vazduhoplovu koji daje očitano vertikalno rastojanje aviona od određene referentne ravni.

Visinomer u zavisnosti od načina rada možemo podeliti:

- radio visinomer,
- barometarski visinomer.

U zavisnosti od pritiska na koji je podešen barometarski visinomer možemo podeliti:

- QNH pritisak, pokazivač apsolutne visine – A (engl.Altitude),
- QFE pritisak, pokazivač relativne visine – H (engl.Height),
- QNE pritisak, pokazivač nivoa leta – FL (engl.Flight Level).

2.4. Ostali letački navigacioni instrumenti

Automatski radio kompas – ADF (engl.Automatic direction finder) predstavlja radionavigacioni uređaj na vazduhoplovu koji prima signale sa zemlje od NDB (engl.Non-directional beacon), neusmerenog radio fara. ADF pokazuje stranski ugao (engl.Relative Bearing) u odnosu na pravac radio-signala izvora NDB-a.



Slika 2. ADF uređaj u avionu za dobijanje signala NDB

Svesmerni radio far – VOR (engl. Very High Frequency Omnidirectional Range), radi na odgovarajućoj publikovanoj frekvenciji. Radio navigacioni instrumenti koji se koriste za očitavanje VOR-a (smerova od VOR stanice - radijala) u pilotskoj kabini - pokazivači su: CDI (engl.Course deviation indicator), HSI (engl.Horizontal situation indicator), RMI (engl. Radio magnetic indicator).



Slika 3. VOR/DME

Uređaj za merenje udaljenosti – DME (engl.Distance measuring equipment) u avionu pokazuje:

- rastojanje u NM (engl.Nautical mile) - koso od DME stanice na zemlji,
- brzinu u odnosu na zemlju u čvorovima,
- vreme doleta do zemaljske stanice (izražava se u minutama)

3. PILOTSKI NAVIGACIONI SISTEMI U VAZDUHOPLOVU

Zadatke vazduhoplovne navigacije tokom leta realizuje pilotsko - navigacioni sistem (PNS).

PNS se sastoji od:

- FMC (engl.Flight management computer) - kompjuter za upravljanje letom,
- ADC (engl.Air data computer) - računar sa podacima o letu,
- Engine data - podaci o pogonskim grupama,
- CDU (engl.Control display units) - upravljačko pokazivačka jedinica,
- Flight data storage - memorisani podaci za letenje,
- INS (engl.Inertial navigation system) - inercijalni navigacioni sistem,
- AHRS (engl.Attitude and Heading Reference System) - referentni sistem položaja i kurs vazduhoplova,
- VHF (engl.Very high frequency) - Navigation receiver - radio navigacioni prijemnik,
- Auto throttle - uređaj za automatsku regulaciju potiska motora,
- Autopilot,
- ND (engl.Navigation display) - navigacioni pokazivači,
- PFD (engl.Primary flight display) - glavni pokazivači.

Pomoću savremenih PNS rešavaju se zadaci vezani za pilotiranje i upravljanje vazduhoplovom.

Navigacioni zadaci rešavani u PNS su:

- rešavanje određenih zadataka zadane maršute i profila leta (dužine navigacionih etapa, putnih uglova etapa zadane maršute, parametara ugla penjanja, poniranja, tačke početka zaokreta, itd);
- određivanje odgovarajućeg vektora stanja vazduhoplova u sistemu koordinata karakterističnom za odgovarajuće pilotsko-navigacione informacije;
- realizacija pretvaranja koordinata - prelazak iz sistema koordinata davača pilotsko navigacione informacije u sistem koordinata kojima računar rešava problem i navigacioni sistem koordinata;
- optimalna obrada pilotsko - navigacionih informacija;
- proračun puta vazduhoplova;
- korekcija proračunatih koordinata mesta vazduhoplova;
- izračunavanje parametra vetra;
- obezbeđivanje automatskog prelaska na novu etapu maršute letenja;
- obezbeđivanje manevara za prilaz i sletanje;
- proračun parametara upravljanja, obezbeđujući izvršenje letenja po zadanoj trajektoriji;
- pokazivanje pilotsko - navigacionog parametara, elemenata navigacionih uslova, upravljanje radom automatskih planšeta i indikatora.

Savremeni PNS se javljaju kao složeni sistemi sa visokim stepenom automatskog rešavanja svih pilotsko - navigacionih zadataka. Usavršavanje PNS ide u pravcu proširivanja domena rešavanja zadataka i automatizacije procesa u letu. [12]

3.1. Parametri leta za bitne podsisteme

Podsistemi koji zahtevaju informacije računara parametara leta su:

- ATC transponder,
- FCS (engl.Flight control system),
- Autopilot sistem,
- Navigacioni sistem,
- FMS (engl.Flight management system),
- ECS (engl.Environmental control system).

Automatska obrada podataka se odnosi:

- meteo podatke u neposrednoj okolini vazduhoplova,
- podatke koji se odnose na pogonske sisteme vazduhoplova,
- podaci koji se odnose na poziciju vazduhoplova u odnosu na odobrenu putanja leta,
- pozicija drugih vazduhoplova, kao i njegov položaj u odnosu na zemlju.

3.2. Upotreba meteroloških radara

Meterološki radari predstavljaju jedan od segmenata nadzornih sistema koji obezbeđuje bezbedno letenje u lošim meteo uslovima. Radari se koriste za meterološko osmatranje i detektuju elektrostatičko pražnjenje oko aviona. Meterološki radari predstavljaju savremeno sredstvo za dobijanje objektivnih podataka o karakteristikama oblačnosti i vrstama, intenzitetu pojava.

Pomoću meteroloških radara se mogu dobiti sledeći podaci:

- oblaci (vrsta, horizontalna rasprostranjenost, vertikalni razvoj,
- visina - baze i vrha, tendencija razvoja, brzina i smer kretanja)
- oblasti povećanih gradijenata meteroloških elemenata,
- padavine,
- turbulencija,
- grmljavinske nepogode,
- smicanje vetra.

4. SISTEM ELEKTRONSKIH INSTRUMENATA ZA LETENJE U VAZDUHOPLOVU

Sistem elektronskih instrumenata za letenje – EFIS (engl.Electronic flight instrument system), je sistem za prikaz instrumenata u pilotskoj kabini u kome je korišćena tehnologija prikaza elektronska, a ne elektromehanička.

Tipičan EFIS sistem se sastoji od jedinica za prikaz koje su prikazane na displeju i od kontrolnog dela za podešavanje. Jedinice za prikaz se sastoje od primarnog prikaza leta (PFD), elektronskog pokazivača položaja – EADI (engl.Electronic attitude deirection finder), navigacionog displeja (ND), kao i elektronskog horizontalnog indikatora položaja – EHSI (engl.Electronic horizontal situation indicator). U nekim EFIS uređajima PFD i EADI mogu biti integrisani, a i ND i EHSI mogu biti integrisani u jedan uređaj.

Kontrolni deo omogućava pilotima funkcije pomoću kojih biraju domet i režim prikaza (mapa, ruža kompasa, podešavanje pritiska, podešavanje načina prilaza i druge opcije).

U integraciji automatizovanih sistema u vazduhoplovu PFD multifunkcionalni pokazivač predstavlja jedan od najbitnijih integrisanih digitalnih sistema.

Na slici 4. prikazan je uređaj EFIS – elektronski instrument sa sistemima podataka koje prikazuje u pilotskoj kabini. [14]



Slika 4. Sistem elektronskih instrumenata – digitalni - za letenje - EFIS

5. AUTOMATIZOVAN INSTRUMENTI U PILOTSKOJ KABINI

Uređaji i sistemi za interakciju između čoveka i mašine u vazduhoplovstvu su veoma značajni. U automatizovanom sistemu oni obezbeđuju visok stepen automatizacije - vizuelizacije, a odnose se na aspekte, interfejs pokazivača kao i funkcija preko kojih se omogućava dobijanje informacija svih pratećih uređaja i sistema koji su obuhvaćeni informatičkom integracijom. Razvijanjem automatizovanih sistema kroz informatičku integraciju povećava se svesnost o saobraćajnoj situaciji pilota i kontrolora letenja u cilju bezbednosti odvijanja vazdušnog saobraćaja. [14]

5.1. Zadatak direktora leta - Flight Director

Flight director sistem omogućava posadi vazduhoplova manje radno opterećenje u fazi prilaza i sletanja. To je sistem koji je projektovan da prikupalja sledeće informacije sa:

- pitosatičkog sistema,
- ADC,
- NAV(navigacionog) prijemnika,
- IRS (engl.Inertial reference system),
- FMS.

Analizom gore navedenih sistema – izvora radi proračune i pretvara ih u proste instrukcije: leti dole, leti gore, leti levo, leti desno.

6. SISTEM ZA UPRAVLJANJE LETOM – FMS

FMS sistem ima zadatak – funkciju da poboljša navigaciju, optimalno trošenje goriva i da smanji radno opterećenje pilota. Ovo postiže kroz obradu podataka koji mu šalju različiti sistemi i podsistemi na vazduhoplovu.



Slika 5. Sistem za upravljanje letom – FMS

U skladu sa novim konceptima 4D trajektorije, kao i primeni novih koncepata potrebno je prilagoditi sve operativne procedure, kao i prilagoditi sve tehničke sisteme, standardizaciju preko modernizacije kako na zemlji ATM (engl. Air traffic management), tako i u vazduhoplovima. Ovo će omogućiti povećanje kapaciteta kako na zemlji, tako i u vazduhu kroz implementaciju novih tehnologija.

Jedna od osnovnih karakteristika jeste i ruta vazduhoplova (pravac kretanja) po planu leta.

7. NAVIGACIONI DISPLEJ – ND

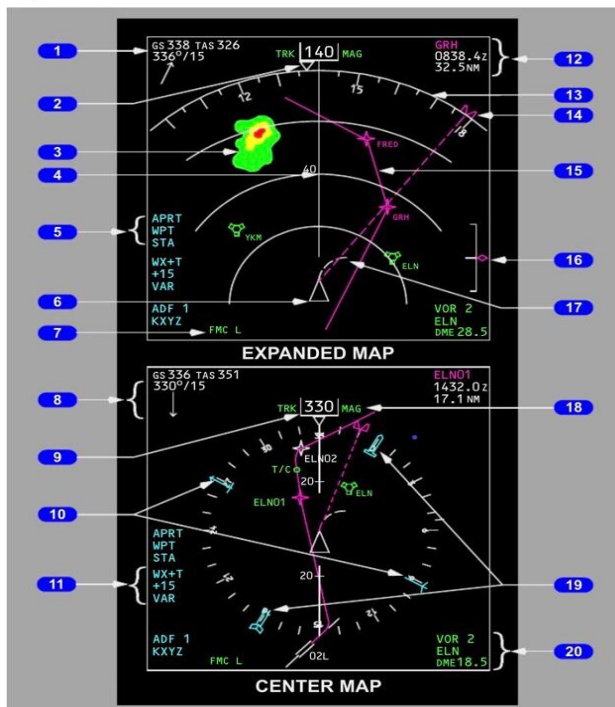
Navigacioni displej ND koji se naziva i elektronski HSI - elektronski pokazivač položaja u horizontalnoj ravni (EHSI), je deo EFIS displeja i služi za prikaz integrisanih navigacionih informacija dobijenih od svih navigacionih sistema (IRS, VOR, DME, ILS, ADF i FMC), koristeći digitalni displej i elektronski generisane simbole. Pored toga ND prikazuje informacije sa meteorološkog radara i TCAS sistema.

Pilot ima mogućnosti da podesi mod rada koji mu odgovara, u zavisnosti od faze leta, izvršenog manevra i kompleksnosti navigacione situacije.

Na slici 6. prikazan je displej za Boeing 737-800 koji prikazuje bitne podatke koji se stalno obrađuju i prikazuju pilotu.

U vazduhoplovu se na uređaju ND obezbeđuje preko 20 podataka bitnih u toku leta vazduhoplova na jednom uređaju - displeju, objedinjeni i obrađeni podaci.

Expanded and Center MAP Modes



Slika 6. Navigacioni displej, Boeing 737-800

U sistemu u kome pilot radi unosi širok spektar znanja, veština i sposobnosti, obezbeđuje fleksibilnost i prilagodljivost sistema kroz stalnu obradu informacija.

Na slici je prikazano 6. obrađenih podataka koje pilot istovremeno dobija na displeju:

1. Dobija informaciju vazduhoplova o pravcu i jačini vetra na trenutnoj visini, kao i informacije o brzina vazduhoplova (ground/true air speed),
2. Pokazivač kursa (hedinga, treka),
3. Prikaz podataka sa meteo radara (oblaka, turbulencije),
4. Trenutna linija puta u odnosu na magnetni sever, kao i podešen domet za ND koji se podešava u EFIS panelu,
5. Polja koja su selektovana na EFIS-u, a koja su prikazana na ND (aerodromi-označeni su četvorocifrenim oznakama, VOR uređaji-označeni su trocifrenim oznakama, tačke iz plana leta),
6. Pokazivač vazduhoplova (simbola) sa trenutnim kursom, odnosno trend vektorom koji je isprekidane bele boje koji nam daje na osnovu zadatog kursa predikciju zaokreta u narednih 30 sekundi. Isprekidane linije roze boje nam daju zadani kurs (hedging) u koji vazduhoplov treba da okrene,
7. Levi FMC računar,
8. Ground/true air speed, i informacije o pravcu i brzini vetra na trenutnoj visini,
9. Pokazivač treka i hedinga,
10. Pokazivač uključenog primarnog VOR/ADF,
11. Selektovani modovi za meteo radar WX+T (prikaz informacija o vremenu-oblacima kao i o zoni vlažne turbulencije), +15 (meteo radar je podešen na pozicije od 150 za očitavanje vremena),
12. Pokazuje nam distancu (u NM) i vreme (sat i minut po UTC) do preleta naredne tačke iz plana leta na ruti,
13. Prikaz kompasne ruže u stepenima,
14. Prikaz označenog i putanje koja vodi ka zadatom hedingu (isprekidana linija roze boje),
15. Aktivna ruta (prikazana na ND-u punom linijom roze boje) iz plana leta,
16. Pokazivač koji pokazuje da li vazduhoplov odstupa od idealnog ugla poniranja za snižavanje za destinaciju,,
17. Trend vektor (označen je isprekidanom belom bojom) koji na osnovu zadatog kursa daje predikciju aviona u narednih 30 sekundi
18. Prikaz magnetnog kursa, treka,
19. Pokazivač uključenog sekundarnog selektovanog VOR-a i
20. Distanca označenog VOR-a sekundarnog u NM. [14]

8. ZAKLUČAK

Da bi se integrisali svi sistemi koji se koriste u navigacionom procesu potrebno je razvijanje modela informatičke integracije u cilju bezbednog, redovnog i ekspeditivnog odvijanja vazdušnog saobraćaja.

Kako se sve više i više koriste podaci prilikom odlučivanja i donošenja odluka koje obrađuju računarski sistemi uz definisane algoritme za rešavanje problema kroz upotrebu veštačke inteligencije.

Nova informaciona tehnologija ima za cilj da smanji ljudsko angažovanje u donošenju odluka.

U radu su prezentovane informatičke integracije svih navigacionih vazduhoplovnih informacionih sistema u cilju povećanja bezbednosti u vazдушnom saobraćaju-prevoza.

LITERATURA

- [1] Formentini, G., Bouissiere, F., Cuiller, C., Dereux, P. E., & Favi, C. (2022). Conceptual Design for Assembly methodology formalization: systems installation analysis and manufacturing information integration in the design and development of aircraft architectures. *Journal of Industrial Information Integration*, 100327.
- [2] Patriarca, R., Di Gravio, G., Cioponea, R., & Licu, A. (2022). Democratizing business intelligence and machine learning for air traffic management safety. *Safety science*, 146, 105530.
- [3] Abdalla, A. S., & Marojevic, V. (2020). Machine Learning-Assisted UAV Operations with UTM: Requirements, Challenges, and Solutions. arXiv preprint arXiv:2006.14544.
- [4] CANSO Strategic Working Group (S&I STWG), "Impact of new concepts stemming from UTM to ATM", White Paper, to appear, 2021
- [5] CANSO Strategic Working Group (S&I STWG), "Airborne tools impacting ATM operations", White Paper, to appear, 2021
- [6] ED-109A/DO-278A & ED-153 with ED-218/DO-331 for Ground or ED-12C/DO-178C with ED-218/DO-331 for Airborne
- [7] F. Bati and L. Withington, "Application of Machine Learning for Aviation Safety Risk Metric," 2019 IEEE/AIAA 38th Digital Avionics Systems Conference (DASC), San Diego, CA, USA, 2019, pp. 1-9, doi: 10.1109/DASC43569.2019.9081657.
- [8] Shuo Chen, Hunter Kopald, Rob Tarakan, Gaurish Anand, Karl Meyer (2019) Characterizing National Airspace System Operations Using Automated Voice Data Processing 13th USA/EUROPE Air Traffic Management R&D Seminar, 17.-21. June 2019, Vienna, Austria.
- [9] SESAR-ACAS Guide, Airborne Collision Avoidance System, March 2022, EUROCONTROL
- [10] Milica Kalić, Danica Babić, Slavica Dožić, Osnovi vazdušnog saobraćaja, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, 2022.
- [11] Slobodan Gvozdenović, Petar Mirosaljević, Olja Čokorilo, Performanse transportnih vazduhoplova, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, 2016.
- [12] Miodrag Ilić, Vazduhoplovna navigacija, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, 2008.
- [13] Obrad Babić, Feđa Netjasov, Kontrola letenja, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, 2016.
- [14] Boris Z. Ribarić, Informatička integracija vazduhoplovnih informacionih sistema radi unapređenja bezbednosti vazdušnog saobraćaja, doktorska disertacija, Panevropski univerzitet Aperion, fakultet informacionih tehnologija Banja Luka, 2023.

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна и универзитетска библиотека
Републике Српске, Бања Лука

37.018.43:004.738.5(082)(0.034.2)
004.738.5(082)(0.034.2)

МЕЂУНАРОДНИ научно-стручни скуп Информационе
технологије за е-Образовање ИТеО (16 ; 2024 ; Бања Лука)
Zbornik radova [Електронски извор] = Proceedings / XVI
međunarodni naučno-stručni skup Informacione Tehnologije za e-
Obrazovanje ИТеО, 27-28.9.2024. Banja Luka ; urednici Dalibor P.
Drljača, Dražen Marinković, Siniša Tomić ; pokrovitelji konferencije
Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske. - Onlajn izd. -
Banja Luka : Panevropski univerzitet Apeiron, 2024. - (Edicija
Informacione tehnologije = Information technologies ; knj. br. 37)

Системски захтјеви нису наведени. - Наћин pristupa (URL):
<https://www.iteo.rs.ba/>. - Насл. са насловног екрана. - Опис
извора дана 02.10.2024. - Ел. публикација у ПДФ формату
опсега 203 стр. - Текст ћир. и лат. - Радови на срп. и енгл.
језику. - Библиографија уз сваки рад. - Abstracts.

ISBN 978-99976-87-40-1

COBISS.RS-ID 141485569