Інститут систем управління
МНО Азербайджанської республіки

Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут"

Харківський національний
університет радіоелектроніки

Національний аерокосмічний університет
імені М. Є. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут"

Університет технології і гуманітарних наук
(м. Бельсько-Бяла, Польща)

ПРОБЛЕМИ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ

Тези доповідей тринадцятої міжнародної
науково-технічної конференції

27 – 28 листопада 2025 року

Том 1: секції 1, 2

Баку – Харків – Бельсько-Бяла –2025

УДК 004 : 681.3 doi: https://doi.org/10.32620/PI.25.t1

У збірнику подано тези доповідей тринадцятої міжнародної науково-технічної конференції “Проблеми інформатизації”. Розглянуті питання за такими напрямами: інформатизація навчального процесу; застосування, експлуатація та безпека функціонування телекомунікаційних систем та мереж; комп’ютерні методи і засоби інформаційних технологій та управління; методи швидкої та достовірної обробки даних в комп’ютерних системах та мережах; цивільна безпека та захист критичної інфраструктури (інформаційна підтримка); сучасні інформаційно-вимірювальні системи.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Співголови оргкомітету:

ГАШИМОВ Ельшан Гіяс огли (*д.н.б. & в.н., проф., ІСУ АР, Баку, Азербайджан*);
КАРПІНСЬКІ Міколай (*д.н., проф., Університет Бельсько-Бяла, Польща*);
КОВАЛЕНКО Андрій Анатолійович (*д.т.н., проф., ХНУРЕ, Харків, Україна*);
КУЧУК Георгій Анатолійович (*д.т.н., проф., НТУ «ХПІ», Харків, Україна*);
ФЕДОРОВИЧ Олег Євгенович (*д.т.н., проф., НАУ «ХАІ», Харків, Україна*).

Члени оргкомітету:

ГЛАВЧЕВ Максим Ігорович (*к.е.н., доц., НТУ «ХПІ», Харків, Україна*);
ГЛИВА Валентин Анатолійович (*д.т.н., проф., КНУБА, Київ, Україна*);
ДОРОНІН Євген Володимирович (*к.т.н., доц., ДУ «КАІ», Київ, Україна*);
ЗАЙЦЕВА Єлєна (*к.т.н., проф., Університет міста Жиліна, Жиліна, Словаччина*);
ЗАПОЛОВСЬКИЙ Микола Йосипович (*к.т.н., проф., НТУ «ХПІ», Харків, Україна*);
КАЛІНІН Євгеній Іванович (*д.т.н., проф., НУ БрПкУ, Київ, Україна*);
КОЛОМІЙЦЕВ Олексій Володимирович (*д.т.н., проф., НТУ «ХПІ», Харків, Україна*);
КОСЕНКО Віктор Васильович (*д.т.н., проф., НУ ПП, Полтава, Україна*);
ЛЕВАШЕНКО Віталій (*к.т.н., проф., Університет міста Жиліна, Жиліна, Словаччина*);
ЛЕВЧЕНКО Лариса Олексіївна (*д.т.н., доц., НТУУ «КПІ», Київ, Україна*);
ЛЕЩЕНКО Олександр Борисович (*к.т.н., проф., НАУ «ХАІ», Харків, Україна*);
МОЖАЄВ Олександр Олександрович (*д.т.н., проф., ХНУ ВС, Харків, Україна*);
ПОДОРОЖНЯК Андрій Олексійович (*к.т.н., доц., НТУ «ХПІ», Харків, Україна*);
РОМАНЕНКОВ Юрій Олександрович (*д.т.н., проф., ХНУРЕ, Харків, Україна*);
РУБАН Ігор Вікторович (*д.т.н., проф., ХНУРЕ, Харків, Україна*);
РУДНИЦЬКИЙ Володимир Миколайович (*д.т.н., проф., ДНДІ ОВТ, Черкаси, Україна*);
СЄВЄРІНОВ Олександр Васильович (*к.т.н., доц., ХНУРЕ, Харків, Україна*);
СЕМЕНОВ Сергій Геннадійович (*д.т.н., проф., ПУ, Краків, Польща*);
СМІРНОВ Олександр Анатолійович (*д.т.н., проф., ЦНТУ, Кропивницький, Україна);*
ТРЕТЬЯКОВ Олег Вальтерович (*д.т.н,, проф., ДУ «КАІ», Київ, Україна*);
ШЕФЕР Олександр Віталійович (*д.т.н., проф., ПНТУ, Полтава, Україна*).

Секретаріат оргкомітету:

КУЧУК Ніна Георгіївна (*д.т.н., проф., НТУ «ХПІ», Харків, Україна*);
ЛЯШЕНКО Олексій Сергійович (*к.т.н,, доц., ХНУРЕ, Харків, Україна*).

Institute of Control Systems
of the Ministry of Science and Education
of the Republic of Azerbaijan

National Technical University
Kharkiv Polytechnic Institute

Kharkiv National University
of Radio Electronics

National Aerospace University
Kharkiv Aviation Institute

University of Bielsko-Biala

PROBLEMS OF INFORMATIZATION

Proceedings of 13-th International
Scientific and Technical Conference

November 27 – 28, 2025

VOLUME 1: SECTIONS 1, 2

Baku – Kharkiv – Bielsko-Biala –2025

UDC 004 : 681.3 doi: https://doi.org/10.32620/PI.25.t1

The collection presents abstracts of reports of the Thirteenth International Scientific and Technical Conference "Problems of Informatization". Issues in the following areas are considered: informatization of the educational process; application, operation and safety of telecommunication systems and networks; computer methods and means of information technology and management; methods of fast and reliable data processing in computer systems and networks; civil security (information support); modern information and measurement systems.

ORGANIZING COMMITTEE

Тринадцята міжнародна науково-технічна конференція “Проблеми інформатизації” проводиться 27 та 28 листопада 2025 року в режимі ONLINE.

Тези доповідей доступні в INTERNET.

ТОМ 1

СЕКЦІЯ 1. Інформатизація навчального процесу.

Керівниця секції: д.т.н. проф. Н. Г. Кучук, НТУ «ХПІ», Харків.
Секретарка секції: к.т.н. доц. О. М. Бельорін-Еррера, НТУ «ХПІ», Харків.

СЕКЦІЯ 2. Застосування та експлуатація телекомунікаційних систем та мереж.

Керівник секції: д.т.н. проф. Г. А. Кучук, НТУ «ХПІ», Харків.
Секретар секції: к.т.н. доц. С. С. Бульба, НТУ «ХПІ», Харків.

ТОМ 2

СЕКЦІЯ 3. Безпека функціонування телекомунікаційних систем та мереж.

Керівник секції: д.т.н. проф. О. О. Можаєв, ХНУВС, Харків.
Секретар секції: к.т.н. доц. О. В. Сєвєрінов, ХНУРЕ, Харків.

СЕКЦІЯ 7. Сучасні інформаційно-вимірювальні системи.

Керівник секції: д.т.н. проф. О. В. Коломійцев, НТУ «ХПІ», Харків.
Секретар секції: к.т.н. доц. А. О. Подорожняк, НТУ «ХПІ», Харків.

ТОМ 3

СЕКЦІЯ 4. Комп’ютерні методи і засоби інформаційних технологій та управління.

Керівники секції: д.т.н. проф. І. В. Рубан, ХНУРЕ, Харків.
д.т.н. проф. А. А. Коваленко, ХНУРЕ, Харків.
Секретар секції: к.т.н. доц. О. С. Ляшенко, ХНУРЕ, Харків.

ТОМ 4

СЕКЦІЯ 5. Методи швидкої та достовірної обробки даних в комп’ютерних системах та мережах.

Керівник секції: д.т.н. проф. В. В. Косенко, НУ ПП, Полтава.
Секретар секції: к.т.н. доц. Д. О. Лисиця, НТУ «ХПІ», Харків.

СЕКЦІЯ 6. Цивільна безпека та захист критичної інфраструктури.

Керівник секції: д.т.н. проф. О. В. Третьяков, ДУ «КАІ», Київ.
Секретар секції: к.т.н. доц. Є. В. Доронін, ДУ «КАІ», Київ.

СЕКЦІЯ 1
ІНФОРМАТИЗАЦІЯ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ

Керівниця секції: д.т.н. проф. Н. Г. Кучук, НТУ «ХПІ», Харків
Секретарка секції: к.т.н. доц. О. М. Бельорін-Еррера, НТУ «ХПІ», Харків

INFORMATIZED MILITARY PEDAGOGY: PEDAGOGICAL FORMATION OF THE MILITARY COLLECTIVE IN A DIGITALLY MEDIATED TEACHING ENVIRONMENT

Ibragimov R.I., Jabbarova T.B., Mammadova Kh.
Military Scientific Research Institute of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

This article analyses the pedagogical foundations of forming a military collective in the context of the informatization of the teaching process, treating the military unit not only as a social group but as a digitally mediated learning community. The purpose of the study is to substantiate how information and communication technologies, digital learning platforms and electronic feedback tools can be consciously integrated into military pedagogy in order to accelerate adaptation, reduce social tension, strengthen discipline and support the holistic development of servicemen. Methodologically, the paper is based on a systemic and activity oriented approach that considers the military collective as a dynamic system in which interpersonal relations, pedagogical influences and digital infrastructures interact. Conceptual analysis of military pedagogical literature is combined with interpretation of practical tools of informatized instruction, such as learning management systems, online assessment, simulation based training and digital monitoring of psychological climate.

The article first clarifies the essence of the military collective in an informatized teaching environment, showing that the social space of the unit is extended by virtual channels of interaction, including online courses, group chats, closed forums and joint work in digital educational resources. In this extended space, servicemen internalize behavioural norms not only through direct contact and the requirements of military regulations but also through the rules of digital communication, participation and responsibility. Particular attention is paid to the role of the command and teaching staff, whose functions now combine traditional face to face pedagogical leadership with the roles of digital moderator, mentor and curator of online joint activity. A well organized life of the military unit, supported by electronic surveys, online feedback mechanisms and digital psychological monitoring, is shown to accelerate the adaptation of newcomers and allows potential sources of social tension to be diagnosed at an early stage.

A central focus of the paper is the reinterpretation of the classical “method of perspective paths” in the conditions of informatized instruction. Short term, medium term and long term prospects are operationalized through digital calendars, electronic rating systems and visual dashboards of individual and

collective progress. Short term prospects appear as weekly or modular tasks with visible online ratings, such as “best platoon of the week” or “top performer in simulator training”, which create a tangible sense of achievement and strengthen motivation. Medium term prospects are linked to cycles of training, courses or semesters and are managed through digital planning tools and collective projects with clear stages and shared responsibility. Long term prospects are reflected in personal development trajectories, electronic portfolios and pathways of professional growth that connect current educational achievements with future career opportunities. In all cases, digital instruments help to align personal and collective perspectives and to make the temporal horizon of development more transparent for all members of the collective.

The article also analyses the formation of healthy collective opinion and the role of tradition in a digitalized military learning environment. Healthy collective opinion is understood as the aggregate of evaluative judgements expressed by the majority of servicemen regarding events in unit life and the conduct of its members. It is argued that online discussions, closed forums and electronic surveys can significantly enrich pedagogical work with collective opinion, provided that they are professionally moderated and embedded in the value system of the armed forces. At the same time, risks associated with anonymity, emotional escalation and informal groupings are critically examined, and guidelines are proposed for maintaining constructive and principled public opinion in digital spaces. Military traditions are considered in their transformed digital form, including electronic honour boards, multimedia chronicles of unit achievements and digital archives of commemorative events, which reinforce pride in belonging to the unit and support continuity of values.

The main result of the study is a conceptual model of pedagogical formation of the military collective under conditions of informatization, in which digital tools are interpreted not as neutral technical additions but as managed pedagogical resources. The model demonstrates how informatized teaching can be used to structure joint activity, make prospects visible, intensify feedback, personalise educational trajectories and at the same time preserve the moral and psychological core of the military collective. In practical terms, the findings provide guidance for commanders, curriculum designers and military educators on how to redesign training syllabi, assessment systems and everyday unit routines so that informatization genuinely strengthens, rather than replaces, the living pedagogical work of forming responsible, motivated and cohesive servicemen. The article concludes that a military unit which combines strict observance of regulations with well designed digital didactics becomes a dynamic social and educational system, within which each serviceman develops in both real and virtual environments. Such a system increases the effectiveness of training, supports a favourable moral and psychological climate and ultimately contributes to higher combat readiness and the reliable fulfilment of the mission of defending the homeland.

References

1.Piriyev H.K. Harbi pedagogika. Student book. / H.Piriyev, T.Jabbarova, R.Tahirov – Baku: Harbi nashriyyat, – 2020. – 220 p.

2. Nazarov A., Mammadov R. Pedagoji ustalıq/ –Baku:Muallim, –2008.– 190 p.

3. Aliyev H. Pedagoji ustalıgın asasları. Student book /– Baku: ADPU, – 1999. – 200 p.

4. Hasanov A., Agayev A. Pedagogika./– Baku:Nasir nashriyyatı,– 2007.– 496 p.

5.Piriyev H.K. et al.Some issues of pedagogical staff training for special-purpose higher education institutions // Military knowledge, 2014, No. 4, p. 3-9.

6.Agayev S.O. et al.. Modern pedagogical technologies in military education. Textbook. Part I. // - Baku: Military Publishing House, 2016, 152 p.

7.Piriyev H.K. et al.Provide interactive training methods. Methodological materials // - Baku: Military publishing house, 2016, 33 p.

8.Piriyev H.K. et al. Training methods in military education. Methodological materials // - Baku: Military publishing house, 2017, 52 p.

9. Islamov, I. et al. (2025). Big data analytics and machine learning for predicting radiation and chemical threats in the military sphere. In *Theory and practice of modern science..* pp.30–38. https://doi.org/10.36074/scientia-26.09.2025

10. Babayev, S. et al. (2025). Enhancing operational effectiveness through command and control integration of autonomous robot swarms. In *Scientific review of the actual events, achievements and problems..* pp. 75–82. https://doi.org/10.36074/scientia-03.10.2025

11. Tahirov, R. K. et al. (2024). Environmental aspects of information technology implementation. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 138–139).

12. Ibrahimov, B.G. et al. (2024). Research and analysis mathematical model of the demodulator for assessing the indicators noise immunity telecommunication systems. *Advanced Information Systems*, *8*(4), 20-25.

13. İbrahimov R.İ. Artificial intelligence applications in higher education: prospects for personalized learning and governance efficiency / Grail of science. 2025, N55. Pp.601-614. DOI 10.36074/grail-of-science.22.08.2025.071

14. Jabrayilov, A. et al. (2025). Digital technologies and artificial intelligence in the management of environmental safety in the army. In *Current directions of development of information and communication technologies and control tools. Proc. of 15-th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 1, pp. 110-111).

15. Mammadov, R. et al. (2024). Enhancing special forces management efficiency in modern operations. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 31–32).

16. Hasanov, A. H. (2025). Exploring the impact of online learning platforms on higher education. İn *Current directions of development of information and communication technologies and control tools.*

17. Talibov A. M. et al. Training military personnel in radiation and chemical threat protection methods //Proceedings of the 15th International Scientific and Technical Conference. – 2025. – T. 4. – C. 94-95.

18. Tahirov R. K. Professional military education and the development of strategic human capital /Current directions of development of information and communication technologies and control tools. T.4, section 6. 2025 . C. 35.

19. Hasanov A. H. et al. Strategic reforms and digital innovation in military educational management. – 2025.

20. Hasanov A.H. Exploring the impact of online learning platforms on higher education / Current directions of development of information and communication technologies and control tools. T.4: section 6. 2025. C. 39.

TEACHING OF CIVIL SECURITY KNOWLEDGE IN MILITARY EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Mammadzada M.A.
Military Scientific Research Institute, Baku, Azerbaijan

In recent years, the teaching of civil security knowledge in military educational institutions has become a matter of strategic significance. Global and regional security challenges, hybrid threats, and issues related to the protection of critical infrastructure have underscored the need for military personnel to acquire not only combat skills but also competencies in civil security. In this regard, the teaching of civil security courses in military academies must be developed in both theoretical and practical directions.

The instruction of civil security knowledge in military institutions represents an essential component of cadets' training, both strategically and operationally. Such knowledge enhances their preparedness for emergency situations, technogenic and natural disasters, and fosters their ability to protect critical infrastructure and assess potential risks.

Theoretically, civil security education encompasses legal and regulatory frameworks, security management systems, risk analysis methodologies, decision-making during emergencies, and psychological resilience. Each component contributes to improving cadets' comprehensive readiness and enables the effective application of theoretical knowledge in practical settings [3-13].

As highlighted in military-pedagogical literature, the teaching of civil security requires an interdisciplinary approach. Within this framework, legal and normative foundations are taught in alignment with the state's civil defense and emergency management systems; the technical component introduces cadets to the structure and functioning of security systems, while the socio-psychological component fosters collective decision-making and adaptive behavior under emergency conditions [2].

At the same time, theoretical knowledge is reinforced through practical application via simulation-based training, laboratory exercises, and scenario-based learning. These methods enhance cadets' analytical and operational preparedness to respond to real-life threats. When theoretical instruction is aligned with practical skill development, the professional training of military personnel in civil security becomes more systematic and effective.

The theoretical instruction of civil security is not limited to the transmission of information; it also cultivates strategic thinking, risk assessment, and the ability to respond flexibly to emergencies. Therefore, the theoretical foundations constitute the core of civil security education within military institutions.

The teaching of civil security in military educational institutions extends beyond theoretical and practical dimensions; it also entails a well-developed scientific and methodological foundation. The term scientific-methodological provision refers to the combination of normative, methodological, and technological bases that ensure a purposeful, systematic, and standardized organization of the educational process. The main objective of this provision is to develop cadets' high-

level preparedness for emergencies, hybrid threats, and risks related to critical infrastructure protection.

Several key directions are prioritized in the formation of the scientific-methodological framework. First is the alignment of curricula with national and international security standards. For this purpose, reference to documents such as NATO and the European Defence Agency's (EDA) Civil Security Education Guidelines is recommended [4]. Second, the course content should integrate modern security risk analysis, emergency management, and civil defense measures [1].

Another essential component of scientific-methodological provision is the modernization of educational resources. The use of digital simulations, interactive learning platforms, and training-laboratory complexes for emergency response increases the practical applicability of cadets' knowledge. Alongside the renewal of teaching methods, enhancing the scientific and pedagogical capacity of instructors is equally vital. Accordingly, specialized professional development courses and methodological workshops for educators are regarded as effective practices in international experience.

In Azerbaijan and other post-Soviet countries, significant steps have been taken in recent years to improve the scientific-methodological system of civil security education within military institutions. In particular, methodological manuals and curricula developed jointly by the Ministry of Emergency Situations and the Ministry of Defence have made valuable contributions to the quality of education in this field.

The conducted analysis demonstrates that the scientific-methodological provision of civil security education holds strategic importance in the functioning of military educational institutions.

This provision not only enhances cadets' theoretical knowledge but also aims to develop their decision-making, risk assessment, and rapid response skills in emergency situations. The alignment of the scientific-methodological base with contemporary security concepts and international experience improves the quality of the military-pedagogical process and contributes to the effective achievement of educational objectives.

At the same time, the continuous renewal of methodological provision requires the integration of modern technologies into educational resources. The application of interactive simulation systems, electronic learning platforms, and scenario-based training modules has become an integral part of contemporary military pedagogy. Such technological approaches transform the teaching of civil security from an abstract theoretical discipline into a practice-oriented, situation-based learning model.

Another crucial indicator of methodological effectiveness is the professional development level of the teaching staff. The methodological competence of educators, their mastery of modern teaching technologies, and continuous engagement with international pedagogical experience directly influence learning outcomes. In this regard, teacher training programs and methodological seminars serve as key components of the scientific-methodological system.

Ultimately, the scientific-methodological provision of civil security education represents one of the innovative directions in the development of the military education system.

Its purposeful enhancement contributes to the implementation of national security strategies, the strengthening of critical infrastructure protection capacity, and the comprehensive professional formation of cadets.

Therefore, scientific-methodological provision should not be viewed merely as an instructional mechanism, but rather as a fundamental pedagogical category that reinforces the sustainability and managerial quality of the national security system.

References

1. European Defence Agency. *Guidelines for Civil Security Education in Armed Forces*. Brussels, 2022. URL: https://eda.europa.eu/docs/default-source/documents/eda-annual-report-2022_en-web.pdf

2. Petrenko O. Civil Safety Training in the Armed Forces: International Experience. Kyiv: National Defense University, 2021. Pp. 78–95.

3. Smith J., Brown T. *Civil Security Education in Military Institutions*. Journal of Military Studies. 2022. Vol. 14, no. 2. Pp. 45–60.

4. Agayev, S.O., et al. (2016). Modern pedagogical technologies in military education. Textbook. Part I. *Baku: Military Publishing House*.

5. Piriyev, H.K., et al. (2014). Some issues of pedagogical staff training for special-purpose higher education institutions. *Military knowledge*, (4), 3-9.

6. Piriyev, H.K., et al. (2016). Provide interactive training methods. Methodological materials. *Baku: Military publishing house*.

7. Dadaşov A. (2024). Applying didactic teaching princples to professional engineering in military higher education institutions. Journal of defense resources management. 2024 № 15:2 (237), səh. 152-163.

8. İbrahimov R.İ. Artificial intelligence applications in higher education: prospects for personalized learning and governance efficiency / Grail of science. 2025, N55. Pp.601-614. DOI 10.36074/grail-of-science.22.08.2025.071

9. Piriyev, H.K. et al. (2016). Modelling of the battle operations. *Monografiya, Herbi Nashriat", Baku.–2017*.

10. Hasanov A.H. Exploring the impact of online learning platforms on higher education. *In* Current directions of development of information and communication technologies and control tools. T.4: section 6. 2025. C. 39.

11. Hasanov A.H. Online education platforms in higher education: opportunities, challenges, and future directions. *İn* XXI international scientific conference of Kharkiv National University of the Air Force named after Ivan Kozhedub "New technologies - for the protection of air space": abstracts of reports, April 09-10, 2025. – Kh.: KhNUPS named after I. Kozheduba, 2025. - p.752-753

12. Piriyev H.K. et al. Some aspects of optimization of control / Current directions of development of information and communication technologies and control tools. Proceedings of 14-th International Scientific and Technical Conference. Volume 1. 2024. -pp.18-19.

13. Piriyev, H.K. et al. Model for assessing the functionality of systems in the structure of the armed forces. *İn* Problems of informatization. Proceedings of 11-th International Scientific and Technical Conference. 2023, Vol. 3. p.14-15.

THE DIGITAL TRANSFORMATION OF RESEARCH MANAGEMENT IN HIGHER EDUCATION: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES

Yadigarova L.A.
Institute of Education of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

In modern university model, teaching and research function as interdependent and mutually reinforcing strategic endeavours [1]. The conceptual integration of these two functions was first developed in Germany with the establishment of the University of Berlin by Wilhelm von Humboldt in 1810. This institutional reform marked a transformation from earlier traditions by giving professors academic autonomy, introducing seminars and laboratories alongside lectures, institutionalizing doctoral-level education and integrating research-based teaching. The mutual relationship between teaching and research enhances the strategic significance of universities at both national and international levels [2]. In response to increasing social and state expectations, many nations have directed their policies toward the systematic development and modernization of universities, emphasizing research and innovation as key drivers of national progress [3]. Consequently, universities have evolved beyond their traditional role as centers of teaching to become critical drivers of scientific advancement and knowledge transfer. Particularly in the modern globalized era, characterized by rapid technological advancement, the integration of new technologies to enhance the efficiency of research activities and research management has become increasingly important. With the ongoing advancement of the Internet, artificial intelligence, and big data technologies there has been a growing emphasis across various countries on promoting and conducting high-quality scientific research that can significantly contribute to socio-economic development. Particular attention is given to the effective management of research activities and the practical utilization of scientific outcomes for the benefit of society. Governments are increasingly prioritizing investments and infrastructure in higher education institutions with high research productivity, aiming to maximize the impact and return on investment in the research sector. Coupled with strong governmental support for the development of scientific research in higher education, universities are increasingly prioritizing the digital transformation of research management systems. The integration of information and communication technologies into the management of university research has become not only a necessary condition for institutional development but also an essential component of national strategies for scientific and technological innovation [4]. This transformation involves the establishment of comprehensive digital infrastructures, including databases for academic personnel, research outcomes, funding allocations, laboratory facilities, and educational and research activities. Such systems enable more rational resource allocation and promote efficient, evidence-based management practices. To fully realize these benefits, it is crucial to enhance modern technologies and infrastructure, formulate clear standards for data sharing, and ensure that academic staff and researchers possess adequate digital literacy and awareness of emerging data technologies [5].

On a global scale, there is a rapid expansion in the volume and scope of scientific research conducted within universities. Universities are regarded as critical agents in

generating new knowledge, facilitating research-based teaching, and sustaining mechanisms that support continuous development. These functions are seen as essential drivers for national socio-economic progress and integration into the knowledge economy. Consequently, significant efforts are being made to establish a feasible infrastructure and other resources to underpin and promote these objectives effectively. The effective use of big data technologies plays a critical role in the evaluation and governance of research performance, offering new pathways for evidence-informed decision-making and institutional accountability [6]. A review of traditional technology transfer models, such as the dissemination, knowledge utilization, communication, university technology transfer office, and Triple Helix frameworks, reveals that no single model can fully capture the complexity of technology transfer processes. Instead, these models yield the most effective results when applied in an integrated and multi-level approach, reflecting the interconnected and interdependent nature of modern research and innovation ecosystems. The integration of advanced information technologies, including artificial intelligence and cloud computing, is increasingly recognized as critical for developing both the quality and efficiency of scientific research management within universities. The utilisation of research management platforms powered by generative AI technologies offers transformative potential by enabling intelligent question-answer systems, continuous project monitoring, and boosted retrieval of academic resources. Such platforms not only facilitate more effective coordination of research activities but also contribute significantly to advancing institutional research outcomes [4]. In this context, the application of information technology is a significant element of national innovation ecosystems, actively contributing to the development of scientific inquiry and discovery in higher education institutions. Moreover, effective knowledge management systems, complemented by the establishment of technology transfer offices, have proven essential in bridging the gap between academic research and industry engagement. This synergy enhances the translation of research findings into practical innovations, thereby contributing to broader societal goals, including sustainability and the creation of a more habitable environment [6]. Despite these opportunities, the rapid adoption of technology in research management also raises critical ethical and governance challenges. Universities have to develop and implement effective ethical frameworks to guide the responsible and transparent use of emerging technologies. This requires the establishment of carefully planned institutional policies, along with targeted education and ongoing training programs designed to address pressing concerns such as data privacy, academic integrity, and unequal access to technological resources [7].

Moreover, to fully use the potential of advanced technologies, it is imperative to build and enhance the capacity of existing research managers. These individuals play a significant role in managing and monitoring research endeavours and ensuring that technological tools are applied effectively and ethically. Capacity-building initiatives should focus on equipping research managers with the necessary digital literacy, technical skills, and ethical awareness to navigate the complexities of data management systems, artificial intelligence applications, and cloud-based platforms. Without such targeted professional development, the benefits of technological innovations may be undermined by misuse or resistance to change.

Central to this effort is the adoption of core ethical principles within universities. These include transparency, accountability, credibility, fairness, and equity, serving as basic pillars for maintaining academic integrity. By aligning technological adoption with these ethical standards, universities can ensure that innovation is integrated responsibly and inclusively, strengthening the integrity and impact of academic research [7-10]. In summary, while the implementation of new technologies in university research management presents huge opportunities to enhance efficiency, scientific innovation, and technology transfer, it also necessitates careful consideration of ethical implications and governance mechanisms. By investing in big data infrastructures, information technology solutions, and open-source platforms, universities can gain significant benefits. However, these must be balanced with proactive ethical monitoring to safeguard privacy, maintain integrity, and promote equitable access, ensuring that technology serves as a driver for responsible and sustainable academic advancement.

References

1. Krakovich, V., Coates, D., & Shakina, E. (2023). Research-teaching nexus: The new answer to the old question. Higher Education Quarterly, 77(4), 831–852. https://doi.org/10.1111/hequ.12435

2. Zapp, M. (2022) Revisiting the Global Knowledge Economy: The Worldwide Expansion of Research and Development Personnel, 1980–2015. Minerva (2022). https://doi.org/10.1007/s11024-021-09455-4

3. Arnau-Sabatés, L., Ion, G., Wang, L., & Kowalczuk-Walędziak, M. (2025). Getting the Right Mix Between Research and Teaching: A Cross-National Study of University Teachers' Perspectives and Practices in Teacher Education and Education Studies. Higher Education Quarterly, 79(2). https://doi.org/10.1111/hequ.70019

4. Cui, M., Sun, W., Zhu, L., & Fu, Y. (2024). Research on the application of informatization in scientific research management in universities. *ACM International Conference Proceeding Series.* https://doi.org/10.1145/3700297.3700348

5. Li, L., & Shi, W. (2021). Applying big data in the evaluation and management of research performance in universities. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies.* https://doi.org/10.1007/978-3-030-79197-1_132

6. Stemberkova, R., Maresova, P., David, O. O., & Adeoye, F. (2021). Knowledge management model for effective technology transfer at universities. *Industry and Higher Education.* https://doi.org/10.1177/09504222211036153

7. Chen, L., Saharuddin, N., & Abdullah, N. S. M. (2025). Ethical principles for the introduction and use of modern technologies in academic work. *Innovations in Education and Teaching International.* https://doi.org/10.1080/14703297.2025.2555960

8. Aliasan, Kusnadi, Muzaiyanah, M., & Razzaq, A. (2024). Digital ethics in higher learning institutions: Challenges and fostering responsible practices. In *Harnessing green and circular skills for digital transformation* (Chapter 4). IGI Global. https://doi.org/10.4018/9798369328651.ch004

9. Agayev, S.O., et al. (2016). Modern pedagogical technologies in military education. Textbook. Part I. *Baku: Military Publishing House*.

10. Piriyev, H.K., et al. (2014). Some issues of pedagogical staff training for special-purpose higher education institutions. *Military knowledge*, (4), 3-9.

THE FORMATION OF THE DIGITAL ENVIRONMENT IN MILITARY PEDAGOGY

Seyfullayev J.G.
Azerbaijan Sport Academy, Baku, Azerbaijan

Since the beginning of the second decade of the 21st century, the trend of digitalization, as in all social and management systems, has become a priority direction in the field of military education as well. The development of digital technologies, artificial intelligence, and cyber-physical systems has brought about fundamental changes in the military training process. Modern military pedagogy is no longer based solely on traditional teaching methods but also requires the synthesis of digital management and educational technologies.

The concept of a digital environment carries a complex meaning in the context of military education. It refers both to the existence of technological infrastructure and to the pedagogical use of digital resources. The primary task of military pedagogy is to ensure that this environment develops in a controlled, secure, and methodologically justified manner.

In the modern era, the development of digital technologies and their integration into the education system have created a qualitatively new stage in the structure of the pedagogical process.

This stage is characterized by a transition from the traditional model of teaching to a digital learning environment. The concept of a digital environment not only implies the use of technological tools but also the re-establishment of the philosophical, methodological, and pedagogical foundations of the learning process. Within the philosophy of education, the digital environment is interpreted as the enrichment of human cognitive activity through digitalized forms, the creation of new channels for knowledge production, and the transformation of learning into an interactive and personalized process [1].

From a pedagogical standpoint, the formation of the digital environment can be explained through the integration of constructivism, sociocultural approaches, and systems pedagogy. According to constructivist theory, knowledge is formed as a result of the learner's active engagement, and the digital environment provides wide opportunities to stimulate this process.

Interactive platforms, simulation programs, and digital laboratories support experiential learning and transform the learner from a passive recipient of information into an active creator of knowledge. From the perspective of sociocultural theory, the digital environment ensures the expansion of social interactions, the emergence of new forms of collaborative learning, and the transformation of pedagogical communication culture.

A crucial component of the theoretical foundations of the digital environment is the pedagogical potential of information and communication technologies (ICT). The application of ICT in education represents not only a technical innovation but also a comprehensive transformation affecting the content, methodology, and assessment system of instruction.

In this context, the concept of digital pedagogy has emerged and become one of the main directions of contemporary educational science. Digital pedagogy aims to preserve the humanistic values of education while strengthening its technological foundation and ensuring the acquisition of knowledge in a dynamic, open, and adaptive environment.

In the context of military pedagogy, the theoretical foundations of the digital environment have a more specific character. Here, the implementation of digital technologies not only aims to increase the efficiency of training but also serves strategic objectives such as ensuring national security, operational readiness, and the development of decision-making competencies. The digital learning environment serves as the main methodological basis for situational analysis, risk modeling, combat simulation, and decision-making algorithms in the system of military education. Such an approach develops cadets' critical thinking, situational analysis, and technological adaptation skills [2-12].

From a pedagogical and theoretical perspective, the main characteristics of the digital environment include:

Activity and interactivity – ensuring active participation of learners and knowledge acquisition through experiential learning;

Personalized learning – creating an environment adapted to the individual pace, interests, and abilities of cadets through digital platforms;

Collaborative learning and social networking – promoting cooperative learning through online forums, group projects, and digital communication tools;

Accessibility and flexibility – providing uninterrupted access to digital resources and eliminating spatial and temporal barriers to learning;

Analytical and adaptive management – enabling automated analysis of learning outcomes and the development of individual feedback mechanisms.

The theoretical foundations of the digital environment are also linked to the transformation of pedagogical management systems. Traditional teacher–student relationships are being replaced by the "mentor–learner–digital tool" triad. In this model, the teacher is not merely a transmitter of information but also a moderator, facilitator, and evaluator who ensures the effective use of digital resources. This approach is particularly significant in military pedagogy, where mutual trust, operational communication, and discipline between the instructor and the cadet are among the key determinants of instructional effectiveness.

However, the formation of the digital environment also introduces new pedagogical challenges. These include issues of information security, ethical conduct, digital dependency, and superficial knowledge acquisition. Therefore, the pedagogical foundations of the digital environment should encompass not only technological but also ethical and psychological dimensions. Developing digital culture, information literacy, and cybersecurity competencies among cadets constitutes an integral part of modern military education strategy.

The theoretical and pedagogical foundations of the digital environment are multidisciplinary in nature and define the integration of technology into the pedagogical system as a strategic direction.

The formation of this environment contributes not only to improving the efficiency of instruction but also to enhancing the resilience of the education system, intellectual development of the individual, and ensuring national security.

In the context of digital transformation, the role of the teacher has undergone a profound change as the central element of the educational process. In the traditional model, the teacher was the main source of knowledge, acting as a controller and evaluator. In the digital educational environment, however, the teacher's mission has become multidimensional, dynamic, and creative. The modern educator is no longer an information transmitter but a facilitator of learning, a curator of digital resources, an analyst, and a motivator. This shift reflects the transformation occurring in educational philosophy and the transition of knowledge production to a collective and technology-based form.

The role of the educator in the formation of the digital environment manifests in several key directions: as a pedagogical leader and builder of digital culture, a facilitator and curator, a bearer of technopedagogical competencies, a designer of digital learning resources, a logical-analytical evaluator, and a motivator providing psychological support. In the context of military pedagogy, the educator also assumes a strategic role in aligning digital innovations with national defense objectives.

In conclusion, the formation of the digital environment in military pedagogy fundamentally transforms the quality and management of the teaching process. The creation of this environment is not limited to technological innovation but also requires methodological and psychological adaptation.

Digitalization enhances the flexibility, transparency, and analytical potential of military education while improving decision-making and management culture.

The scientific and methodological construction of the digital environment, the improvement of teachers' digital literacy, and the maintenance of security standards constitute the essential conditions for sustainable progress in this field. Thus, digitalization is not merely a technological process but an integral component of the strategic development concept of modern military pedagogy.

References

1.Seyid, N. *The Benefits and Risks of Digitalization in Education* // *Ancient Land: International Online Scientific Journal.* – 2023. – Vol. 5, No. 3. – pp. 19–23.

2.NATO Defense Education Enhancement Programme (DEEP). *Digital Transformation in Military Education.* – NATO, 2022. – 56 p.

3.Agayev, S.O., et al. (2016). Modern pedagogical technologies in military education. Textbook. Part I. *Baku: Military Publishing House*.

4.Piriyev, H.K., et al. (2014). Some issues of pedagogical staff training for special-purpose higher education institutions. *Military knowledge*, (4), 3-9.

5.Piriyev, H.K., et al. (2016). Provide interactive training methods. Methodological materials. *Baku: Military publishing house*.

6.İbrahimov R.İ. et al. Artificial intelligence applications in higher education: prospects for personalized learning and governance efficiency / Grail of science. 2025, N55. Pp.601-614. DOI 10.36074/grail-of-science.22.08.2025.071

7.Piriyev, H.K. et al. (2016). Modelling of the battle operations. *Monografiya, Herbi Nashriat", Baku.–2017*.

8. Hasanov A.H. Exploring the impact of online learning platforms on higher education. *In* Current directions of development of information and communication technologies and control tools. T.4: section 6. 2025. C. 39.

9. Hasanov A.H. Online education platforms in higher education: opportunities, challenges, and future directions. *İn* XXI international scientific conference of Kharkiv National University of the Air Force named after Ivan Kozhedub "New technologies - for the protection of air space". – Kh.: KhNUPS named after I. Kozheduba, 2025. - p.752-753

10. Piriyev H.K. et al. Some aspects of optimization of control / Current directions of development of information and communication technologies and control tools. Proceedings of 14-th International Scientific and Technical Conference. Volume 1. 2024. -pp.18-19.

11. Tahirov, R. K. et al. (2024). Environmental aspects of information technology implementation. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 138–139).

12. Piriyev, H.K. et al. Model for assessing the functionality of systems in the structure of the armed forces. *İn* Problems of informatization. Proceedings of 11-th International Scientific and Technical Conference. 2023, Vol. 3. p.14-15.

13. Islamov, I. et al. (2025). Big data analytics and machine learning for predicting radiation and chemical threats in the military sphere. In *Theory and practice of modern science..* pp.30–38. https://doi.org/10.36074/scientia-26.09.2025

14. Babayev, S. et al. (2025). Enhancing operational effectiveness through command and control integration of autonomous robot swarms. In *Scientific review of the actual events, achievements and problems..* pp. 75–82. https://doi.org/10.36074/scientia-03.10.2025

15. Jabrayilov, A. et al. (2025). Digital technologies and artificial intelligence in the management of environmental safety in the army. In *Current directions of development of information and communication technologies and control tools. Proc. of 15-th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 1, pp. 110-111).

16. Mammadov, R. et al. (2024). Enhancing special forces management efficiency in modern operations. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 31–32).

17. Hasanov, A. H. (2025). Exploring the impact of online learning platforms on higher education. İn *Current directions of development of information and communication technologies and control tools.*

18. Talibov A. M. et al. Training military personnel in radiation and chemical threat protection methods //Proceedings of the 15th International Scientific and Technical Conference. – 2025. – T. 4. – C. 94-95.

19. Tahirov R. K. Professional military education and the development of strategic human capital /Current directions of development of information and communication technologies and control tools. T.4, section 6. 2025 . C. 35.

20. Hasanov A. H. et al. Strategic reforms and digital innovation in military educational management. – 2025.

21. Dadaşov A. (2024). Applying didactic teaching princples to professional engineering in military higher education institutions. Journal of defense resources management. 2024 № 15:2 (237), səh. 152-163.

SOME FEATURES OF THE ROLE OF THE OPERATIONS RESEARCH COURSE IN THE MILITARY EDUCATION SYSTEM

Aliyev A.O.
Military İnstitute named after H.Aliyev, Baku Azerbaijan

This article explains, from an analytical perspective, the conceptual foundations and didactic features of the "Operations Research" course within the military education system, as well as its impact on the formation of decision-making competencies. The primary aim of the study is to demonstrate, through measurement criteria, the added value that tools of operations research such as mathematical modeling, probability theory, optimization, and simulation bring to officer training. In parallel, it presents a methodological framework for current issues including digital transformation, artificial intelligence support, multi-criteria decision making, risk management under uncertainty, and the integration of operational games into the curriculum. The research is based on a mixed-methods design. In the first component, a curriculum analysis is carried out and the course objectives and outcomes are mapped to Bloom's taxonomy. In the second component, the toolset constituting the core of the course is systematized. This includes linear and integer programming, dynamic programming, network planning, k-out-of-n reliability models, Markov processes, queueing theory, stochastic optimization, Monte Carlo simulation, and game theory. In the third component, applied scenarios are developed, for example multi-criteria logistic routing in the supply chain, resource allocation for Radiation-Chemical-Biological safety (CBRN), assessment of the resilience of communications networks, and modeling of incident response time at training ranges. In the fourth component, a measurement and evaluation system is established. Here a KPI matrix is applied across knowledge, skills, and attitudes, and triangulation is performed through project-based learning and periodic war-gaming laboratories.

The analysis shows that the Operations Research course is a critical instrument in shaping a three-tier competency structure. The first tier is mathematical-statistical literacy. At this stage, learners internalize the logic of dynamic decision making, sensitivity analysis, and the quantification of uncertainty. The second tier comprises modeling and simulation skills. Students build digital twins for logistics, combat service support, personnel planning, and equipment reliability based on real data, and compare decision outcomes through scenario analysis. The third tier is a decision-making culture aligned with doctrine and ethics. At this level, moral-legal constraints, minimization of civilian harm, fair allocation of resources, and requirements for transparent justification are taken into account. It is also emphasized

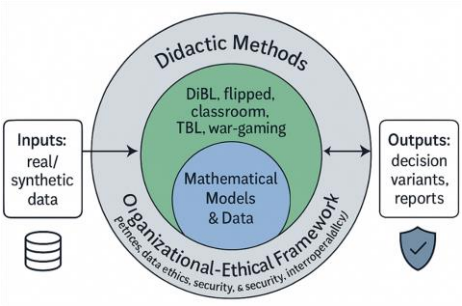

Fig. 1. Three-layer conceptual model of the "Operations research" course

that artificial intelligence algorithms are didactically positioned as decision-support tools rather than decision makers. The findings confirm the interdisciplinary nature of the course and its bridge function for transitioning to operational-tactical planning.

The article models operations research not only as a set of technical tools but also as a didactic-ethical framework. In the proposed conceptual model, the course is presented with a three-layer construct. The core layer comprises mathematical models and data management. The middle layer consists of didactic methods, including problem-based learning, the flipped classroom, team-based projects, and red-blue games. The outer layer covers organizational policies, data governance protocols, security requirements, and inter-disciplinary coordination mechanisms. This structure enables the proposed KPI matrix to be mapped to curriculum outcomes and creates a continuous improvement cycle. Applied examples show that systematic instruction in the course accelerates operational and tactical decision processes, reduces resource waste, and ensures stable performance under uncertainty. In logistics routing, multi-criteria optimization yields savings in distance and time, while reliability modeling of the equipment fleet enables rational scheduling of preventive maintenance. Simulation of CBRN risk scenarios makes it possible to measure incident response times and compare alternative mitigation measures. When laboratory exercises of the course are synchronized with training cycles of HQ personnel, the justification of decisions is strengthened and a culture of accountability in reporting takes shape. Key limitations include restricted access to real operational data, the sensitivity of simulation results to scenario assumptions, and the need to ensure algorithmic transparency. These risks are mitigated through methodological approaches such as synthetic data generation, model verification procedures, cross-calibration, and independent evaluation mechanisms. Strengthening the ethics-legal module in the curriculum consolidates a culture of accountability when using artificial intelligence.

A spiral approach is advisable in curriculum design. In the first stage come mathematical foundations and probability-statistics, in the second stage optimization and network models, and in the third stage simulation, game theory, and decision-support systems. At each stage, real-scenario mini-projects, data ethics seminars, and war-gaming laboratories should be included. At the academic-organizational level, standardization of data infrastructure, open interfaces, model versioning, and reproducibility protocols are essential. For the teaching staff, methodological training should include development modules on didactic design, experimental evaluation, and mathematical programming. As a result of systematic implementation, measurable improvements are achieved in decision-making quality, efficient allocation of training resources, agile planning capabilities, and predictability in managing operational risks. This effect strengthens a science-based decision-making culture in the military education system, increases resilience in critical functions such as communications and logistics, and accelerates the plan-do-check-act cycle at the strategic level. The article shows that the Operations Research course functions as a strategic bridge in the military education system that unites theoretical knowledge with practical decision mechanisms. When modern mathematical-computational tools are synthesized with an ethics-legal

framework and didactic design, the course systematically shapes officers' analytical thinking, risk awareness, and accountable decision-making skills. The proposed model and KPI matrix provide a practical methodological basis for the planning, delivery, and continuous improvement of the course. Future research can be expanded by evaluating anonymized sharing of operational data, explainable models of artificial intelligence, and the integration of operational games with hybrid simulation platforms

References

1.Agayev, S.O., et al. (2016). Modern pedagogical technologies in military education. Textbook. Part I. *Baku: Military Publishing House*.

2.Piriyev, H.K., et al. (2014). Some issues of pedagogical staff training for special-purpose higher education institutions. *Military knowledge*, (4), 3-9.

3. Piriyev, H.K., et al. (2016). Provide interactive training methods. Methodological materials. *Baku: Military publishing house*.

4. İbrahimov R.İ. Artificial intelligence applications in higher education: prospects for personalized learning and governance efficiency / Grail of science. 2025, N55. Pp.601-614. DOI 10.36074/grail-of-science.22.08.2025.071

5. Jabrayilov, A. et al. (2025). Digital technologies and artificial intelligence in the management of environmental safety in the army. In *Current directions of development of information and communication technologies and control tools. Proc. of 15-th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 1, pp. 110-111).

6. Mammadov, R. et al. (2024). Enhancing special forces management efficiency in modern operations. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 31–32).

7. Islamov, I. et al. (2025). Big data analytics and machine learning for predicting radiation and chemical threats in the military sphere. In *Theory and practice of modern science..* pp.30–38. https://doi.org/10.36074/scientia-26.09.2025

8. Babayev, S. et al. (2025). Enhancing operational effectiveness through command and control integration of autonomous robot swarms. In *Scientific review of the actual events, achievements and problems..* pp. 75–82. https://doi.org/10.36074/scientia-03.10.2025

9. Tahirov, R. K. et al. (2024). Environmental aspects of information technology implementation. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 138–139).

10. Ibrahimov, B.G. et al. (2024). Research and analysis mathematical model of the demodulator for assessing the indicators noise immunity telecommunication systems. *Advanced Information Systems*, *8*(4), 20-25.

11. Talibov A. M. et al. Training military personnel in radiation and chemical threat protection methods //Proceedings of the 15th International Scientific and Technical Conference. – 2025. – T. 4. – C. 94-95.

12. Tahirov R. K. Professional military education and the development of strategic human capital /Current directions of development of information and communication technologies and control tools. T.4, section 6. 2025 . C. 35.

13. Hasanov A. H., Guliyev U. A., Hashimov E. G. Strategic reforms and digital innovation in military educational management. – 2025.

14. Hasanov A.H. Exploring the impact of online learning platforms on higher education / Current directions of development of information and communication technologies and control tools. T.4: section 6. 2025. C. 39.

SOME RESULTS OF THE STUDY ON THE DIDACTIC DESIGN OF ENGINEERING TRAINING IN MILITARY HIGHER EDUCATION

Dadashov A.S.
Institute of Education of the Republic of Azerbaijan
Military Institute named after Heydar Aliyev,
National Defense University, Baku, Azerbaijan

This thesis presents the main considerations of the research conducted on the topic of didactic design of engineering training in military higher education. In modern times, technological innovations and security challenges make it necessary to provide engineering training with new approaches. In this context, didactic design plays an important role in terms of systematization and increasing the effectiveness of the teaching-learning process [1]. The formation of scientific and technical knowledge of engineering-qualified educators and students in military higher education institutions is important for the successful implementation of military operations. In this regard, didactic design of training creates conditions for the purposeful and systematic organization of engineering training [2]. The aim of the research is to build an effective teaching model taking into account military technical requirements, along with pedagogical approaches. Engineering training in the education system is based on the synthesis of pedagogical theories and practical approaches. Classical didactic models are being revised in order to increase the activity and practical skills of learners [3]. Engineering training in a military educational environment is closely related to the development of strategic thinking and decision-making abilities [4]. International experiences show that the constructivist approach strengthens the skills of cadets to think independently and work in a team [5]. An effective learning model is formed by purposeful design and includes the goals, content, methods and assessment criteria of the educational process. The acquisition of skills by trainees in accordance with the real operational environment is supported by digital simulations and interactive teaching tools. Phased planning of teaching and differential approaches ensure adaptation to different levels. The designed model targets the development of both technical and strategic competencies. The research applied a mixed methodology, and both quantitative and qualitative data were collected. Participants' opinions on teaching methods and content structure were studied through structured surveys, focus groups and interviews. A content analysis of the curricula was conducted to analyze the relevance of didactic elements, and the data were analyzed in the SPSS program. Studies show that engineering training should not be limited to the transfer of technical knowledge only, but should be based on a complex model that combines strategic goals and practical skills [6]. Mixed methodology allows focusing on the needs of trainees and modernizing the strategies of the teaching staff. Currently, the training of engineer officers is carried out in stages, but the content of some subjects does not fully comply with modern technological developments and additional training is needed. Other studies show that curricula give priority to theory rather than practice; the application of modern training technologies and equipment is

limited; and assessment criteria do not fully cover real professional skills [7]. In the experience of NATO countries, simulation centers, project-based learning, and field experience are key components in engineer training [8-10]. In general, the limitation of innovative and technological approaches, the weakness of practical skills, and the lack of professional development opportunities for teaching staff are noted as the main problems.

Some statistical analyses and scientific results conducted on the evaluation of the subject of engineering training at the Military Institute

Within the framework of the study, extensive statistical analyses were conducted based on the opinions of cadets and graduates in order to evaluate the effectiveness of the subject of "Engineering Training" at the military higher education institution. These analyses were aimed at identifying the relationships and structural patterns between the respondents' subject choices, attitudes towards teaching methods, and suggestions for improvement.

At the initial stage, descriptive statistical methods were applied to analyze the demographic indicators of the respondents, their levels of interest in the subject, and their general learning experiences. This stage allowed us to present an overall picture of the educational process.

Then, the correlation and relationship levels between various variables were examined through bivariate analyses. For example, the relationship between the attitude of cadets to teaching methods and their choice of subject was evaluated using Spearman and Pearson correlation coefficients.

In a more in-depth phase of the study, multivariate analyses were applied, and the relationship of respondents' suggestions with structured and systematic thinking patterns was investigated through factor analysis and regression models. This approach allowed for a comprehensive assessment of the didactic and methodological aspects of the engineering training subject.

The results obtained showed that the vast majority of respondents consider it important to have a practical orientation of the subject content, to apply simulation-based training methods, and to strengthen interdisciplinary integration. At the same time, it is required that the assessment criteria be more multidimensional and skill-based.

These results support the main objective of the study and prove that the approaches of cadets and graduates in the subject "Engineering training" are formed by scientifically based, structured, and systematic thinking.

The study provides important recommendations from both theoretical and practical perspectives.

Key stages of didactic design in military engineering education

Didactic design serves as a fundamental methodological framework for organizing the training process in military engineering education in a purposeful, systematic, and functional manner. This approach plays a critical role in structuring the instructional process, optimizing content, and fostering the development of learners' competencies. It encompasses the following key stages:

Defining educational objectives - The educational objective forms the cornerstone of didactic design and guides all stages of the instructional process. In military engineering education, the objective should extend beyond the transmission of theoretical knowledge to include the development of cadets' decision-making abilities under operational conditions, management of technical systems, application of safety protocols, and strategic thinking skills. At this stage, Bloom's taxonomy and competency-based learning models should be considered to articulate objectives across behavioral, cognitive, and skill-based dimensions.

Selection and structuring of content - Instructional content must be aligned with the specific requirements of the engineering discipline. It is essential that the content be scientifically grounded, current, and application-oriented. Technical knowledge, tactical and strategic approaches, military safety, logistics, and operational planning modules should be organized in a coherent and integrative manner. During content structuring, models such as integrated curriculum frameworks or modular teaching approaches may be employed to facilitate progressive deepening of knowledge.

Selection of teaching methods and tools - Teaching methods should be selected based on learners' needs, instructional goals, and the complexity of the subject matter. Approaches such as Problem-Based Learning (PBL), simulation-based instruction, project-oriented learning, and interdisciplinary integration have proven effective in military engineering education. These methods enhance cadets' analytical thinking, agile decision-making, and teamwork capabilities. Additionally, instructional tools-including digital platforms, interactive simulators, and virtual reality technologies-enable the imitation of real combat scenarios and promote the practical application of theoretical knowledge.

Development of assessment criteria - Assessment must ensure objective and multidimensional evaluation of learning outcomes. Sole reliance on test-based assessment is insufficient to capture learners' complex competencies. Therefore, alternative assessment formats such as project presentations, individual and group-based practical tasks, execution of engineering plans, and expert evaluations should be implemented. A combination of formative and summative assessment strategies allows for continuous monitoring of the instructional process and accurate measurement of final outcomes.

Directions for improvement:

1. Modern training technologies
2. Interdisciplinary integration
3. Practically oriented training
4. Development of teaching staff
5. Modernization of assessment

Results

- Existing curricula partially meet modern challenges, but the theory-practice balance is not optimal.

- Design processes are formal in nature, which reduces the effectiveness of training.

- The choice of training methods is unsystematic and based on individual approaches.
- Assessment criteria do not fully cover complex skills.

Suggestions:

1. Development of modular, project-oriented and interdisciplinary curricula
2. Systematic application of interactive and simulation-based methods
3. Continuous development of teaching staff and access to international experience
4. Updating the assessment system with formative and summative approaches
5. Accurate description of design stages in regulatory documents and preparation of implementation mechanisms

References

1. Dadashov A. (2023). Designing military engineering training based on the model of didactic justification. Journal of defense resources management . 2023 № 14:2 (281), səh. 87-96.
2. Dadaşov A. (2024). Hərbi institutda professor müəllim heyəti və tələbələrin mühəndis hazırlığının didaktik layihələndirilməsi səviyyəsinin yüksəldilməsi imkanları. ARTİ-nin elmi əsərlərləri. 2024 № 2(91), səh. 45–51.
3. Biggs, J., & Tang, C. (2011). Teaching for quality learning at university (4th ed.). McGraw-Hill Education.
4. Piriyev, H.K., et al. (2016). Provide interactive training methods. Methodological materials. *Baku: Military publishing house*.
5. Prince, M. J., & Felder, R. M. (2006). Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons, and research bases. Journal of engineering education, 95(2), 123-138.
6. Merrill, M. D. (2002). First principles of instruction. Educational technology research and development, 50(3), 43–59.
7. Dadaşov A. (2023). Hərbi institutda mühəndis hazırlığının didaktik layihələndirilməsi vəziyyətinin təhlili. ARTİ-nin elmi əsərlərləri. 2023 № 4(281), səh. 47-51.
8. Dadashov A. (2024). Applying didactic teaching princples to professional engineering in military higher education institutions. Journal of defense resources management. 2024 № 15:2 (237), səh. 152-163.
9. Agayev, S.O., et al. (2016). Modern pedagogical technologies in military education. Textbook. Part I. *Baku: Military Publishing House*.
10. Piriyev, H.K., et al. (2014). Some issues of pedagogical staff training for special-purpose higher education institutions. *Military knowledge*, (4), 3-9.

AI-BASED EFFICIENCY MODEL IN UNIVERSITY GOVERNANCE

Valehov S.A., Akhundov R.G.
National Defense University, Baku Azerbaijan
Hashimov E.G.
Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

The article explores in a multifaceted way the opportunities and limitations of applying artificial intelligence in higher education and evaluates its impact on teaching quality, management efficiency and social outcomes on both empirical and theoretical grounds. The context is a rapidly changing labor market, with increasingly diverse student needs and global competition. The traditional one size that fits all models is characterized by a lack of personalization, increased teacher workload and limited data informed management decisions. AI based adaptive learning systems, automated assessment and predictive analytics (Fig. 1) have the potential to fill these gaps, yet at the same time they raise ethical, legal and social questions.

The study was conducted using a mixed methods strategy. In the quantitative phase an online survey was administered to 500 participants from 10 universities and the frequency of AI tool use perceived benefits and limitations, as well as attitudes toward privacy and fairness were measured. In the qualitative phase semi structured interviews were held with 30 lecturers, students and administrators to analyze adaptive learning practices, practical examples of AI in management decisions and challenges encountered during implementation. The data were processed through descriptive statistics, correlation and regression models, as well as thematic analysis and triangulation.

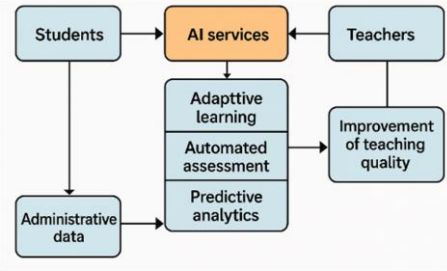

Fig. 1. AI enabled services for improving teaching quality in higher education

The main findings show that the personalization capabilities of adaptive platforms were rated highly useful by 78 percent of participants. Lecturers reported that AI based assessment and feedback tools reduced their weekly workload on average by 15 to 20 percent. Big data analytics increased the accuracy of management decisions on resource allocation and admissions and created a competitive advantage in recruitment strategies. In student support 24/7 virtual advisors and

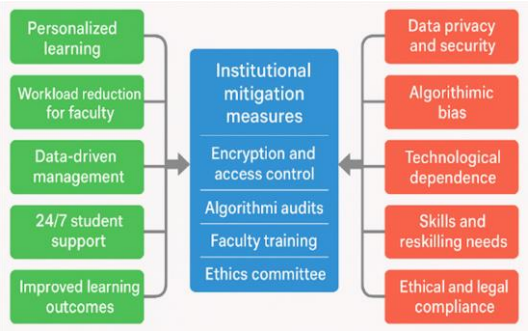

Fig. 2. Opportunities and constraints of AI integration in higher education

chatbot services were especially appreciated, with 64 percent of students in the survey naming fast response as the most valuable feature. In terms of usage frequency, daily AI tool use was 42 percent among lecturers, 35 percent among students and 27 percent among administrators. A comparison of academic outcomes showed an 8 to 12 percent improvement in average indicators after AI adoption.

At the same time the risks are clear. Forty one percent of respondents believe that data privacy is not fully protected. Algorithmic bias may affect fairness in admissions and assessment. Technological dependence can create interruptions in case of infrastructure failures; automation may lead to the reduction of certain roles and weak ethical oversight can undermine public trust. The article proposes practical mitigation measures for these risks' strong encryption and restricted access management, balanced training datasets from diverse sources and regular algorithm audits, hybrid business continuity plans and fallback processes, reskilling and upskilling programs, institutional ethics committees and transparent reporting mechanisms.

A comparison of international practice shows that successful implementation does not depend on technological competence alone. In Singapore and South Korea, a systemic approach supported by state strategies, continuous professional development for teachers and the renewal of standards has produced large scale results. In the United Kingdom and the United States adaptive platforms and predictive analytics improved retention indicators but privacy and bias issues remained on the agenda. This confirms that in the local context too legal frameworks, ethical oversight and stakeholder coordination are decisive.

In conclusion, AI integration in higher education improves teaching quality, makes management more agile and enriches the student experience. Adaptive learning, automated assessment and predictive analytics deliver strong results, but they are not sustainable unless privacy, fairness and equal access are ensured. As policy recommendations the article proposes the expansion of adaptive systems across subjects and continuous feedback loops, targeted training for lecturers, systematic analytics in resource allocation, privacy management compliant with GDPR type standards, bias detection and the scaling of 24/7 student support services. Future research should further explore the pedagogical potential of generative AI, the long-term effects in different cultural environments and the ethical governance of management models.

References

1.Babayev, S. et al. (2025). Enhancing operational effectiveness through command and control integration of autonomous robot swarms. In *Scientific review of the actual events, achievements and problems.*. pp. 75–82. https://doi.org/10.36074/scientia-03.10.2025

2.İbrahimov R.İ. Artificial intelligence applications in higher education: prospects for personalized learning and governance efficiency / Grail of science. 2025, N55. Pp.601-614. DOI 10.36074/grail-of-science.22.08.2025.071

3. Agayev, S.O., et al. (2016). Modern pedagogical technologies in military education. Textbook. Part I. *Baku: Military Publishing House*.

4. Piriyev, H.K., et al. (2014). Some issues of pedagogical staff training for special-purpose higher education institutions. *Military knowledge*, (4), 3-9.

5. Piriyev, H.K., et al. (2016). Provide interactive training methods. Methodological materials. *Baku: Military publishing house*.

6.Jabrayilov, A. et al. (2025). Digital technologies and artificial intelligence in the management of environmental safety in the army. In *Current directions of development of information and communication technologies and control tools. Proc. of 15-th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 1, pp. 110-111).

7.Mammadov, R. et al. (2024). Enhancing special forces management efficiency in modern operations. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 31–32).

8.Islamov, I. et al. (2025). Big data analytics and machine learning for predicting radiation and chemical threats in the military sphere. In *Theory and practice of modern science..* pp.30–38. https://doi.org/10.36074/scientia-26.09.2025

9.Tahirov, R. K. et al. (2024). Environmental aspects of information technology implementation. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 138–139).

10. Ibrahimov, B.G. et al. (2024). Research and analysis mathematical model of the demodulator for assessing the indicators noise immunity telecommunication systems. *Advanced Information Systems*, *8*(4), 20-25.

11. Hasanov, A. H. (2025). Exploring the impact of online learning platforms on higher education. İn *Current directions of development of information and communication technologies and control tools.*

12. Talibov A. M. et al. Training military personnel in radiation and chemical threat protection methods //Proceedings of the 15th International Scientific and Technical Conference. – 2025. – T. 4. – C. 94-95.

13. Tahirov R. K. Professional military education and the development of strategic human capital /Current directions of development of information and communication technologies and control tools. T.4, section 6. 2025 . C. 35.

14. Hasanov A. H., Guliyev U. A., Hashimov E. G. Strategic reforms and digital innovation in military educational management. *In* Current directions of development of information and communication technologies and control tools. T.4: section 6. 2025.

15. Piriyev, H.K. et al. (2016). Modelling of the battle operations. *Monografiya, Herbi Nashriat", Baku.–2017*.

16. Hasanov A.H. Exploring the impact of online learning platforms on higher education. *In* Current directions of development of information and communication technologies and control tools. T.4: section 6. 2025. C. 39.

17. Hasanov A.H. Online education platforms in higher education: opportunities, challenges, and future directions. *İn* XXI international scientific conference of Kharkiv National University of the Air Force named after Ivan Kozhedub "New technologies - for the protection of air space": abstracts of reports, April 09-10, 2025. – Kh.: KhNUPS named after I. Kozheduba, 2025. - p.752-753

18. Piriyev H.K. et al. Some aspects of optimization of control / Current directions of development of information and communication technologies and control tools. Proceedings of 14-th International Scientific and Technical Conference. Volume 1. 2024. -pp.18-19.

19. Piriyev H. K. et al. Provide interactive training methods. Methodological materials //Baku: Military publishing house. – 2016.

20. Piriyev, H.K. et al. Model for assessing the functionality of systems in the structure of the armed forces. *İn* Problems of informatization. Proceedings of 11-th International Scientific and Technical Conference. 2023, Vol. 3. p.14-15.

APPLICATION OPPORTUNITIES OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN MILITARY TRAINING

Mammadov Z.
Military İnstitute named after H.Aliyev, Baku Azerbaijan

The article systematically characterizes the application opportunities of artificial intelligence technologies in military training and readiness systems and presents a scientifically grounded description in terms of the conceptual framework, methodological approach, expected outcomes, and measurable indicators. Because the modern operational environment is marked by high volatility, complexity, and multifaceted risks, agile, personalized, and evidence-based solutions in personnel preparation are necessary. Artificial intelligence is the key technological vector that meets this need. The framework proposed in the article rests on four pillars.

The first pillar comprises adaptive learning and intelligent training systems. This module dynamically regulates the complexity of training content by accounting for the individual skill profile and cognitive load indicators, updates scenarios in real time during decision-making exercises, extracts patterns of errors, and generates explainable feedback for the instructor.

The second pillar is a simulation environment that transcends the magic circle. It includes a live-virtual-constructive integrated training architecture, digital twins, synthetic data generation, multi-agent modeling, scenario synthesis with reinforcement learning, and safe test spaces.

The third pillar is sensor-physiological analytics. Through wearable devices, weapon-mounted modules, and video analytics, indicators such as marksmanship, navigation, communications discipline, situational awareness, stress resilience, and team coordination are objectively measured.

The fourth pillar is the layer of governance, ethics, and cybersecurity. It covers data integrity, model robustness, mitigation of bias risks, audit and explainability mechanisms, and principles of regulatory compliance.

Methodologically, the article proposes a mixed-methods research approach. In the analytical phase, operational requirements are aligned with didactic objectives, a skill taxonomy is established, and an indicator tree is formed. In the engineering phase, a modular architecture is designed. It includes a training data lake, real-time event streaming, a model repository, analytics-as-a-service interfaces, and identity and access management. In the experimental phase, a pre-post design is applied to pilot courses, the impact of adaptive instruction is assessed through quasi-natural experiments, After-Action Review texts are analyzed automatically using natural language processing, and marksmanship technique is objectively coded with computer vision. In the evaluation phase, key performance indicators are defined under the criteria of effectiveness, efficiency, and reliability. Effective measurements include the quality of executing mission-oriented tasks, decision time, and the spectrum of error types. Efficiency indicators include learning gain per training hour, resource savings, and the rate of retraining. Reliability measurements include model stability, sensor data quality, and cyber resilience

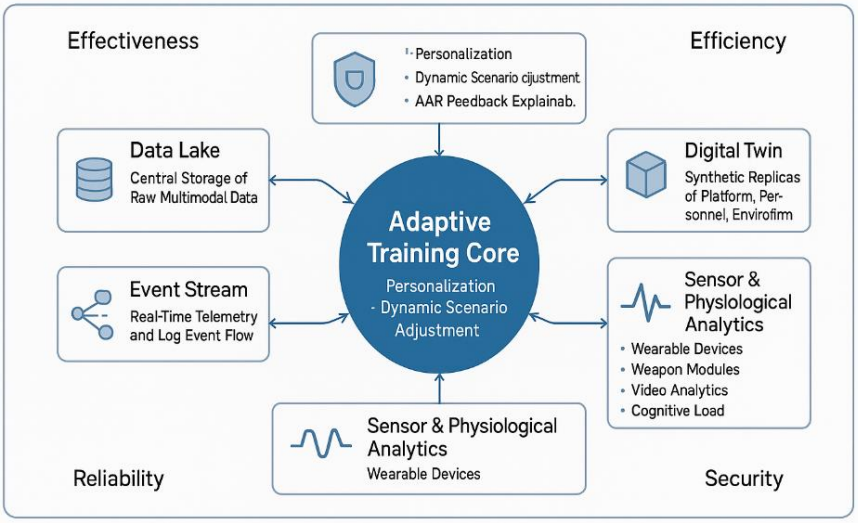

Fig. 1. AI-enabled military training architecture

Application opportunities are systematized at three levels. At the strategic level, an AI-supported training doctrine, a unified data policy, and a model governance mechanism are established. At the operational level, LVC integration, federated simulation networks for joint force preparation, and privacy-preserving data sharing through federated learning are provided. At the tactical level, intelligent assistants, adaptive scenario generators, and real-time guidance and alerting systems enhance individual and group performance. This framework creates a feedback loop that enables rapid updating of training content and feeds lessons extracted from operational experience back into the models.

Ethical and legal dimensions are emphasized separately. Risks of data re-identification, protection of privacy, prevention of biased outcomes, the primacy of human judgment in decision making, and explainability requirements become core design principles of training systems. To this end, model cards, data statements, checks for performance equity across different groups, and transparent explanation modules for AAR are implemented. From a cybersecurity perspective, defense mechanisms against model poisoning, hijacking attacks, and adversarial examples, as well as zero-trust principles, are integral to the system.

The expected scientific and practical benefits are as follows. First, personalization increases the speed and stability of learning and reduces the impact of staff turnover. Second, simulation reduces the load on real resources and expands safe testing space. Third, a culture of objective measurement takes shape and training decisions are grounded in data. Fourth, transparency and accountability increase across governance levels and resource allocation becomes more rational. As a result, artificial intelligence functions not only as a technological add-on but also as a system-forming element of the training ecosystem.

The novelty of the research is concentrated in two directions.

First, it presents an integrated model that unifies LVC, adaptive learning, digital twins, and AAR analytics under a single governance, ethical, and cyber framework.

Second, it proposes a KPI matrix as a multi-criteria tool that simultaneously measures the quality of readiness and the robustness of models, which enables decision makers to link technical indicators to operational outcomes.

Future work will explore domain-specific ontologies tailored to different branches of troops, lightweight models that operate in resource-constrained field conditions, and communication-efficient algorithms that accelerate federated learning.

References

1. İskhandarov, X. et al. (2025). Artificial intelligence in logistics operations. In *Topical issues of science development: Proceedings of the VI International Scientific Conference* (pp. 433–442). https://doi.org/10.62731/mcnd-31.10.2025

2. Agayev, S.O., et al. (2016). Modern pedagogical technologies in military education. Textbook. Part I. *Baku: Military Publishing House*.

3. Piriyev, H.K., et al. (2014). Some issues of pedagogical staff training for special-purpose higher education institutions. *Military knowledge*, (4), 3-9.

4. Muradova, E. E. et al. (2025). Analytical evaluation of UAV-based logistical operations in contemporary military systems. In *Topical issues of science development: Proceedings of the VI International Scientific Conference* (pp. 351–360). https://doi.org/10.62731/mcnd-31.10.2025

5. Piriyev, H.K., et al. (2016). Provide interactive training methods. Methodological materials. *Baku: Military publishing house*.

6. Mammadov, R. et al. (2024). Enhancing special forces management efficiency in modern operations. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 31–32).

7. Ibrahimov, B. G. (2025). Special purpose machine learning and data mining methods. İn *Current directions of development of information and communication technologies and control tools.*

8. İbrahimov R.İ. Artificial intelligence applications in higher education: prospects for personalized learning and governance efficiency / Grail of science. 2025, N55. Pp.601-614. DOI 10.36074/grail-of-science.22.08.2025.071

9. Jabrayilov, A. et al. (2025). Digital technologies and artificial intelligence in the management of environmental safety in the army. In *Current directions of development of information and communication technologies and control tools. Proc. of 15-th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 1, pp. 110-111).

10. Mammadov, R. et al. (2024). Enhancing special forces management efficiency in modern operations. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 31–32).

11. Islamov, I. et al. (2025). Big data analytics and machine learning for predicting radiation and chemical threats in the military sphere. In *Theory and practice of modern science..* pp.30–38. https://doi.org/10.36074/scientia-26.09.2025

12. Babayev, S. et al. (2025). Enhancing operational effectiveness through command and control integration of autonomous robot swarms. In *Scientific review of the actual events, achievements and problems..* pp. 75–82. https://doi.org/10.36074/scientia-03.10.2025

13. Tahirov, R. K. et al. (2024). Environmental aspects of information technology implementation. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 138–139).

14. Ibrahimov, B.G. et al. (2024). Research and analysis mathematical model of the demodulator for assessing the indicators noise immunity telecommunication systems. *Advanced Information Systems*, *8*(4), 20-25.

15. Hasanov, A. H. (2025). Exploring the impact of online learning platforms on higher education. İn *Current directions of development of information and communication technologies and control tools.*

16. Talibov A. M. et al. Training military personnel in radiation and chemical threat protection methods //Proceedings of the 15th International Scientific and Technical Conference. – 2025. – T. 4. – C. 94-95.

17. Tahirov R. K. Professional military education and the development of strategic human capital /Current directions of development of information and communication technologies and control tools. T.4, section 6. 2025 . C. 35.

18. Hasanov A. H., Guliyev U. A., Hashimov E. G. Strategic reforms and digital innovation in military educational management. – 2025.

19. Hasanov A.H. Exploring the impact of online learning platforms on higher education / Current directions of development of information and communication technologies and control tools. T.4: section 6. 2025. C. 39.

THE CHANGING ROLE OF HUMAN RESOURCE MANAGEMENT IN DIGITALIZING UNIVERSITIES

Ismayilova G.I.
Nakhchivan State University, Nakhchivan, Azerbaijan

Digital transformation is fundamentally reshaping the structure and functions of higher education institutions. Universities are increasingly adopting digital tools for teaching, research, and management, which significantly impacts Human Resource Management (HRM). HRM now plays a strategic role in supporting staff adaptation to technological change, developing digital skills, and fostering innovation.

This study aims to critically examine the evolving role of Human Resource Management (HRM) within the digital transformation of universities. It seeks to explore how HRM strategies, processes, and functions are being redefined to respond to technological advancements and shifting organizational needs. The research emphasizes the ways in which HRM can foster innovation, enhance workforce capabilities, and support organizational agility in a rapidly digitizing academic environment. Ultimately, this study aims to offer a theoretical foundation that can guide future research and practical initiatives in digital HRM within universities.

This study adopts a theoretical and descriptive research method aimed at exploring how Human Resource Management (HRM) functions are evolving within the process of university digitalization. The research is based on a comprehensive

review of existing academic literature, policy papers, and institutional frameworks published between 2015 and 2024.

Rather than focusing on a specific case study or university, this paper synthesizes insights from various scholarly sources that examine digital transformation and HRM practices in higher education.

The process included evaluating international research findings, professional reports (such as those published by UNESCO and the World Economic Forum), and peer-reviewed journal articles addressing digital change in universities. By combining theoretical reflection with literature-based evidence, the study highlights general trends, challenges, and opportunities for HRM in the digital transformation of higher education.

The findings of the study indicate that HRM has evolved from an administrative unit into a strategic partner in digital transformation. Through the implementation of electronic HR systems (e-HRM), many processes such as recruitment, communication, and performance management have become more efficient. HR departments now focus on digital upskilling, lifelong learning, and employee engagement in hybrid work environments.

However, universities still face challenges related to digital skill gaps and resistance to innovation. Addressing these issues requires strong leadership, continuous training, and effective communication strategies. In conclusion, HRM plays a vital role in shaping the success of digital transformation in universities. By integrating technology with human-centered management approaches, HR departments can foster innovation, adaptability, and institutional resilience. A proactive, flexible, and learning-oriented HR strategy will be key to sustaining the competitiveness of universities in the digital era.

References

1. Al-Husan, F. A., & Al-Khasawneh, R. (2021). Digital transformation in higher education institutions: The role of human resource management. Journal of Applied Research in Higher Education, 13(5), 1377–1393. https://doi.org/10.1108/JARHE-07-2020-0215

2. Marler, J. H., & Parry, E. (2016). Human resource management, strategic involvement and e-HRM technology. The International Journal of Human Resource Management, 27(19), 2233–2253. https://doi.org/10.1080/09585192.2015.1082097

3. Parry, E., & Battista, V. (2019). The impact of digitalization on HRM: A digital HR maturity model. Employee Relations, 41(5), 1020–1034. https://doi.org/10.1108/ER-02-2018-0059

4. Schulze, C., & Krumm, S. (2020). Digital transformation in higher education: The role of HRM. Journal of Higher Education Policy and Management, 42(3), 275–289. https://doi.org/10.1080/1360080X.2019.1704734

5. Stone, D. L., Deadrick, D. L., Lukaszewski, K. M., & Johnson, R. (2015). The influence of technology on the future of human resource management. Human Resource Management Review, 25(2), 216–231. https://doi.org/10.1016/j.hrmr.2015.01.002

6. World Economic Forum. (2023). The Future of Jobs Report 2023. Geneva: WEF. https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2023

3D МОДЕЛЮВАННЯ, ЯК ЗАСІБ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ПРИ ВИКЛАДАННІ КУРСУ «ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ ТА СТАНДАРТИЗАЦІЯ»

Павлик Г.В.
Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний університет», Харків, Україна

З розвитком використання комп'ютерних технологій все більше уваги викладачі приділяють візуалізації навчальних матеріалів. Особливо гостро постає ця проблема в умовах онлайн навчання. Інтеграція технології 3D-моделювання в освіту пропонує значні перспективи. Багатогранний характер 3D-моделювання в освіті вимагає комплексного підходу, що інтегрує зміст, педагогічні та технологічні знання [1]. Дослідження показали, що тривимірна візуалізація може допомогти студентам покращити просторове розуміння, пришвидшує вивчення матеріалу та розвивати свою креативність [2].

Метою доповіді є розгляд впливу впровадження 3D моделювання при викладанні курсу «Взаємозамінність та стандартизація».

В доповіді наведені переваги використання 3D моделювання для кращого сприйняти лекційного матеріалу підчас онлайн навчання. Візуалізація об'ємних деталей дозволяє студентам оцінювати елементи конструкції, визначати наявність зазорів, розуміти як зміна розмірів в системі отвір-вал впливають на вид посадки. На курсі «Взаємозамінність та стандартизація» висвітлюються теми, які вивчають поняття допусків та посадок, вимірювання розмірів вимірювальними пристроями, розмірні ланцюги та багато інших тем, які простіше студентам зрозуміти при належній 3D візуалізації. Для подачі лекційного матеріалу краще використовувати 3D моделі деталей та з'єднань або відео, на якому показано, як зміна параметрів впливає на наявний зазор, чи пояснюється визначення збільшуючих чи зменшуючих ланок в розмірному ланцюгу. За допомогою візуалізації простіше зрозуміти поняття відхилення розташування площини, види нерівностей поверхні та інші теми, які потрібно уявити. Використання комп'ютерних програм з моделювання дозволить студентам розвинути своє просторове мислення, зрозуміти абстрактні поняття, підвищити мотивацію студентів завдяки інтерактивним моделям. 3D моделювання – це засіб візуалізації, який може значно покращити якість викладання курсів інженерних спеціальностей, зробити навчання цікавим та більш зрозумілим.

Список літератури

1. 3D Modeling and Printing in Teacher Education: A Systematic Literature Review (2025), Springer. SpringerLink

2. Hain, Alexandra; Motaref, Sarira П. E., Implementing Interactive 3-D Models in an Entry-level Engineering Course to Enhance Students' Visualization (ASEE) – досвід застосування AR / інтерактивних 3D моделей у курсі «Mechanics of Materials». peer.asee.org

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ AR/VR 3D ОБ'ЄКТІВ У НАВЧАННІ

Заярний О.В., Попов А.В.
Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна

У сучасній освіті технології віртуальної (VR) та доповненої реальності (AR) стають одним із найдинамічніших напрямів розвитку навчальних практик. Їхнє використання дає змогу створювати занурювальні, інтерактивні та гейміфіковані освітні середовища, що підвищують залученість і мотивацію студентів. Розвиток VR/AR в освіті перебуває на стадії активного впровадження в освітній процес, а створення якісного навчального контенту потребує значних ресурсів, технічної експертизи й часу [1]. Основними проблемами залишаються складність моделювання тривимірних об’єктів, відсутність універсальних інструментів автоматизації та висока вартість розробки контенту.

Подолання цих обмежень було реалізовано шляхом розроблення технології, яка представляє собою модуль, що інтегрується у систему створення навчальних матеріалів. Його мета – спростити та прискорити процес генерації AR/VR 3D об’єктів і сцен для навчальних середовищ. Модуль складається з двох основних частин – реалізації паттерну фасаду для роботи з системою AI (Artificial intelligence) генеративного синтезу 3D моделей та оптимізації сгенерованих моделей під AR/VR-проєкти. Технологія описує можливість використання як локальної так і підключення віддаленої AI-системи. Така архітектура забезпечує гнучкість і масштабованість, дозволяючи за потреби інтегрувати власні або кастомізовані AI-генератори. Реалізація цієї технології була виконана з використанням можливостей багатоплатформової розробки на рушії Unity3D. В цьому проєкті викладач міг за допомогою текстових запитів наповнювати віртуальне середовище сгенерованим контентом.

Запропоноване рішення дозволяє суттєво скоротити час розробки навчальних VR/AR середовищ, зменшити технічні бар’єри для викладачів і підвищити рівень персоналізації освітнього контенту. Використання інтелектуальних генераторів спрощує процес створення віртуальних лабораторій і симуляцій. У перспективі це сприятиме розвитку адаптивного, візуально орієнтованого навчання, що поєднує ефективність штучного інтелекту та потенціал занурювальних технологій.

Список літератури

1. M. Al-Ansi A. Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education / M. Al-Ansi A., Jaboob M., Garad A., Al-Ansi A. // Social Sciences & Humanities Open. – 2023. – Volume 8. – Issue 1. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100532.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ БІОМЕТРИЧНИХ ДАНИХ У СЕРЕДОВИЩІ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ПРИ АДАПТИВНОМУ НАВЧАННІ ВОДІЇВ

Малюга А.І.
Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна

В існуючих системах навчання водіїв, що базуються на технології віртуальної реальності, використовують статичні навчальні сценарії; це призводить до когнітивного перевантаження у курсантів з обмеженим досвідом або недостатнього завантаження досвідчених користувачів. Зазначена обставина призводить до зниження загальної ефективності навчального процесу порівняно з адаптивними підходами. Основною проблемою впровадження адаптивних підходів є висока вартість та недостатня швидкість реагування існуючих систем біометричного моніторингу, що унеможливлює своєчасну реакцію на критичні події у симуляції дорожнього руху. Відсутність інтеграції біометричного моніторингу з архітектурою рушіїв віртуальної реальності додатково уповільнює обробку та ускладнює синхронізацію біометричних даних з ігровою логікою симулятора [1].

У доповіді представлено п'ятифазну модель процесу обробки біометричних даних з низькою затримкою та високою точністю, для динамічної адаптації навчальних сценаріїв у системах підготовки водіїв, на основі аналізу варіабельності серцевого ритму, із використанням споживчих смарт-годинників.

Обробка біометричних даних здійснюється у ході безперервного моніторингу ключових параметрів серцевого ритму, для класифікації когнітивного навантаження курсанта за допомогою нейронної мережі. Експериментальна перевірка підтвердила ефективність запропонованого підходу: адаптивні сценарії суттєво покращують результати підсумкового тестування практичних навичок водіння та знижують кількість критичних помилок порівняно зі статичними сценаріями.

Адаптивний підхід дозволяє підтримувати курсантів у зоні оптимального когнітивного навантаження протягом більшої частини тренувальної сесії, що значно зменшує суб'єктивні звіти про втому після тренування [2].

Список літератури

1. Nikolaev S., Hansen M., Johansen K. A method for synchronized use of EEG and eye tracking in fully immersive VR. Frontiers in Human Neuroscience. 2024. Vol. 18. Article 1347974. DOI: https://doi.org/10.3389/fnhum.2024.1347974

2. Čulík K., Kalašová A., Hrudkay S. Evaluation of driver's reaction time measured in driving simulator. Sensors. 2022. Vol. 22, № 9. Article 3542. DOI: https://doi.org/10.3390/s22093542

МАТЕМАТИЧНІ СТРУКТУРИ ТА ЗАСОБИ АНТРОПОЦЕНТРИЧНОЇ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЇ У ЗВО

Ситнік О.О., Вдовітченко О.В.
Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна

Традиційні методи складання розкладів у закладах вищої освіти орієнтовані, переважно, на оптимізацію ресурсів, що часто призводить до створення технічно коректних, але психологічно некомфортних розкладів.

У доповіді розглянуто концепцію антропоцентричної диспетчеризації, яка враховує індивідуальні потреби студентів і викладачів, на відміну від класичних підходів, що розглядають їх лише як ресурси [1, 2].

Розроблені математичні структури дозволяють формалізувати антропоцентричні критерії через моделі циркадної активності учасників освітнього процесу, функції психологічного навантаження, матриці когнітивної сумісності дисциплін та нечіткі моделі комфорту. Це забезпечує можливість відображати як об’єктивні, так і суб’єктивні фактори при формуванні навчального розкладу.

Запропонована багатокритеріальна модель оптимізації поєднує методи теорії нечітких множин, гібридного генетичного алгоритму та механізми адаптивного навчання.

Архітектура програмного засобу реалізована у вигляді комплексної системи, що містить модулі оптимізації, аналізу поведінкових патернів, моделей та методів прогнозування задоволеності та інструменти візуалізації результатів.

Експериментальна перевірка підтвердила ефективність антропоцентричного підходу, що відповідає сучасним тенденціям розвитку цифрової освіти [3].

Список літератури

1. Ягупов В. В. Методологічні підходи до розбудови єдиного відкритого інформаційного простору професійної освіти в закладі вищої освіти / В. В. Ягупов // Forum-SOIS, 2024: Розбудова єдиного відкритого інформаційного простору освіти впродовж життя : зб. матеріалів 6-го Міжнар. наук.-практ. WEBфоруму / Нілан-ЛТД. – Вінниця, 2024. – Вип. 5. – С. 75–78. https://doi.org/10.33407/lib.NAES.740977

2. Биков В. Ю. Цифрова трансформація суспільства і розвиток комп'ютерно-технологічної платформи освіти і науки України / В. Ю. Биков // Інформаційно-цифровий освітній простір України: трансформаційні процеси і перспективи розвитку : матеріали методологічного семінару НАПН України, 4 квітня 2019 р. – 2019. – С. 5–18. https://lib.iitta.gov.ua/718692/

3. Voloshinov S. Realities and prospects of distance learning at higher education institutions of Ukraine / S. Voloshinov, V. Kruglyk, V. Osadchyi, K. Osadcha, S. Symonenko // Ukr. J. Educ. Stud. Inf. Technol. – 2020. – Vol. 8. – P. 1–16. https://doi.org/10.32919/uesit.2020.01.01

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО ГЕНЕРУВАННЯ ПІДСУМКІВ НАРАД, З ВИКОРИСТАННЯМ ChatGPT API

Санін О.Ю.
Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна

У доповіді розглядаються шляхи автоматизації процесу створення підсумків нарад – із урахуванням риторики, відповідності шаблону та таймінгу зустрічі.

Суть проблеми полягає в організації автоматичного перетворення неструктурованих текстових даних (наприклад, транскрипцій зустрічей) у структуровані, лаконічні та інформативні звіти.

Попередній аналіз ідентифікував рішення на базі ChatGPT API як найбільш задовільне за багатокритеріальною моделлю оцінок. Таке рішення передбачає розроблення двох модулів: шаблонізованого представлення інформації та управління регламентом (тайм-менеджменту), що забезпечує масштабованість.

Для подальших етапів реалізації розглянуто основи трансформерних моделей, функціональність ChatGPT API, підходи до обробки транскриптів, принципи шаблонізації та компоненти цифрового асистента.

Ключовим у запропонованому рішенні є інтеграція API ChatGPT з модульною архітектурою, що надає змогу обробляти текстові транскрипції, виділяти ключові тези, рішення та завдання. Модуль шаблонів звітів включає шаблони відповідно до загальних стандартів або підтримує можливість їх формування згідно внутрішніх стандартів компанії. Модуль тайм-менеджменту допомагає структурувати нараду відповідно до плану та контролювати регламент.

Таким чином, системна архітектура ПЗ генерації підсумків нарад з використанням ChatGPT API є перспективним інструментом для підвищення ефективності комунікації та її підсумків.

Список літератури

1. Биков В. Ю. Цифрова трансформація суспільства і розвиток комп'ютерно-технологічної платформи освіти і науки України / В. Ю. Биков // Інформаційно-цифровий освітній простір України: трансформаційні процеси і перспективи розвитку : матеріали методологічного семінару НАПН України, 4 квітня 2019 р. – 2019. – С. 5–18. https://lib.iitta.gov.ua/718692/

2. Voloshinov S. Realities and prospects of distance learning at higher education institutions of Ukraine / S. Voloshinov, V. Kruglyk, V. Osadchyi, K. Osadcha, S. Symonenko // Ukr. J. Educ. Stud. Inf. Technol. – 2020. – Vol. 8. – P. 1–16. https://doi.org/10.32919/uesit.2020.01.01

ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У СИСТЕМАХ ВІДЕОНАГЛЯДУ В НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ

Стахів В.М., Юнак О.М., Полець М.-В. Я., Тибель І.М.,
Данильченко Т.Є., Загорянська О.І., Тупичак І.В.
Відокремлений структурний підрозділ "Фаховий коледж інформаційних технологій Національного університету "Львівська політехніка"

Доповідь присвячена аналізу використання технологій штучного інтелекту (ШІ) у системах відеонагляду в навчальних закладах. Розглянуто потенціал ШІ для підвищення безпеки, автоматизації моніторингу, розпізнавання облич і поведінки, а також запобігання інцидентам у шкільному та університетському середовищі. Проаналізовано технічні аспекти впровадження цих систем, а також етичні та правові виклики, пов'язані з використанням ШІ у контексті навчальних закладів. Основу сучасних систем відеонагляду з ШІ складають алгоритми машинного навчання, зокрема глибокі нейронні мережі. Вони здатні аналізувати відеопотоки, розпізнавати обличчя, об'єкти, а також визначати аномалії в поведінці [1]. Алгоритми комп'ютерного зору можуть автоматично ідентифікувати людей, що входять у приміщення або територію навчального закладу. Це дозволяє запобігати доступу сторонніх осіб, а також ідентифікувати порушників [2]. За допомогою аналізу руху та взаємодії осіб у кадрі ШІ може виявляти підозрілу або агресивну поведінку, що може свідчити про потенційні конфлікти або інші інциденти. Відеоаналітика дозволяє відслідковувати кількість людей у певних зонах, що особливо важливо для попередження скупчень у коридорах чи на входах, дозволяє знизити потребу у постійному моніторингу з боку операторів, що зменшує навантаження на персонал [3].

Незважаючи на численні переваги, впровадження систем ШІ у відеонагляд в навчальних закладах супроводжується низкою етичних та правових проблем. Наприклад, питання конфіденційності та захисту особистих даних. Подальший розвиток технологій ШІ дозволить створювати більш інтегровані та безпечні системи, що забезпечать комфортне та безпечне середовище для навчання.

Список літератури

1. Вишківська В., Брюховецька І., Даниленко Н.. Персоналізація навчання засобами штучного інтелекту: нові можливості для освіти // Перспективи та інновації науки. – 2025. −9(55). − https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-9(55)-281-290

2. Рибалкіна У. Д., Федоренко, С. А. Інтеграція інтелектуальних систем у діяльність архівів: використання штучного інтелекту для пошуку та аналізу//Матеріали XXXII МНПК студентів, аспірантів та молодих учених "Актуальні проблеми життєдіяльності Суспільства". − 2025. – С. 272–274.

3. Шуть, А. О., Касюра В. С. Академічна доброчесність в епоху штучного інтелекту// Матеріали XXXII МНПК конференції студентів, аспірантів та молодих учених "Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства". – 2025. – С. 242–244.

ПРОБЛЕМИ МОЛОДИХ УЧЕНИХ ПРИ НАПИСАННІ НАУКОВИХ РОБІТ В УКРАЇНІ ТА СПОСОБИ ЇХ УСУНЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Залога О.В., Юнак О.М., Охремчук Н.Л., Пелещак Б.М.,
Туркоцьо О.Б., Юнак О.П.
Відокремлений структурний підрозділ "Фаховий коледж інформаційних технологій Національного університету "Львівська політехніка"

Проблеми, з якими стикаються молоді науковці в Україні, можуть суттєво ускладнити їхній шлях до успішної кар'єри в науці. Проте використання сучасних технологій, зокрема штучного інтелекту (ШІ), відкриває нові можливості для подолання цих викликів. Автоматизація пошуку інформації, підвищення якості письма, антиплагіатні перевірки та оптимізація обробки даних дозволяють значно підвищити ефективність роботи молодих учених і забезпечити їм необхідні інструменти для успішної наукової діяльності. У майбутньому роль ШІ в науці, безумовно, буде лише зростати, створюючи нові можливості для досліджень та інновацій.

В **доповіді** розглянуто ключові аспекти, де ШІ може допомогти молодим науковцям в Україні. Використання таких інструментів як Scopus, Web of Science або Google Scholar з вбудованими алгоритмами ШІ дає можливість економити час на пошук і систематизацію матеріалів. ШІ може надавати рекомендації щодо покращення стилю письма, коректування граматики та структури тексту. Сучасні антиплагіатні системи, що використовують алгоритми штучного інтелекту, можуть ефективно перевіряти тексти на наявність запозичень та неоригінальних фрагментів. Це дозволяє молодим ученим уникнути проблем із відхиленням робіт через плагіат і зосередитися на вдосконаленні змісту.

Інструменти для статистичного аналізу та моделювання, що використовують алгоритми ШІ, допомагають швидше проводити розрахунки і будувати моделі для наукових досліджень. Крім того, ШІ може бути використаний для автоматизації деяких адміністративних процесів, пов'язаних з поданням наукових робіт та іншими бюрократичними завданнями [1-3].

Список літератури

1. Вишківська В., Брюховецька І., Даниленко Н.. Персоналізація навчання засобами штучного інтелекту: нові можливості для освіти // Перспективи та інновації науки. – 2025. −9(55). − https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-9(55)-281-290

2. Рибалкіна У. Д., Федоренко, С. А. Інтеграція інтелектуальних систем у діяльність архівів: використання штучного інтелекту для пошуку та аналізу//Матеріали XXXII МНПК студентів, аспірантів та молодих учених "Актуальні проблеми життєдіяльності Суспільства". − 2025. – С. 272–274.

3. Шуть, А. О., Касюра В. С. Академічна доброчесність в епоху штучного інтелекту// Матеріали XXXII МНПК конференції студентів, аспірантів та молодих учених "Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства". – 2025. – С. 242–244.

ВПРОВАДЖЕННЯ ВЛАСНОЇ КРИПТОВАЛЮТИ У НАВЧАЛЬНОМУ ЗАКЛАДІ ДЛЯ МОТИВАЦІЇ СТУДЕНТІВ: КОНЦЕПЦІЯ, ПЕРЕВАГИ ТА ВИКЛИКИ

Юнак О.М., Романчук В.І., Дещинський Ю.Л., Пліш В.М.
Відокремлений структурний підрозділ "Фаховий коледж інформаційних технологій Національного університету "Львівська політехніка"

Впровадження власної криптовалюти у навчальному закладі є інноваційним підходом до мотивації студентів, що поєднує в собі технологічні інструменти та педагогічні методики. Це може сприяти підвищенню зацікавленості студентів у навчанні, розвитку цифрових навичок та формуванню нових можливостей для взаємодії між учасниками освітнього процесу. Наприклад, студенти можуть отримувати винагороди за відмінні оцінки, активну участь у житті вишу або допомогу іншим студентам [1].

Впровадження криптовалюти в освітній процес може бути реалізовано в декілька етапів, а саме: створення або інтеграція існуючої блокчейн-платформи, на якій буде функціонувати криптовалюта навчального закладу [2]; розробка правил, за якими студенти зможуть отримувати крипто валюту; інтеграція криптовалюти у внутрішні процеси закладу; підтримка безпеки та конфіденційності:

У контексті використання криптовалюти важливо забезпечити належний рівень захисту даних студентів, а також прозорість і контроль за транзакціями, щоб уникнути можливих зловживань.

Використання криптовалют допоможе студентам отримати практичні навички у сфері цифрових технологій та фінансових операцій.

Між тим, для впровадження криптовалюти потрібна розвинена технологічна інфраструктура, що може вимагати значних інвестицій. Використання криптовалют може бути обмежене чинним законодавством, тому необхідно враховувати правові аспекти під час впровадження цієї системи [3]. Необхідно передбачити механізми захисту від можливих зловживань у системі винагород.

Список літератури

1. Гладченко, О. Криптовалюта: від віртуальних монет до стратегій кодування" Збірник Наукових Праць Державного Податкового Університету. – 2024. − № 1. – с. 8–14. − doi:10.32782/2617-5940.1.2024.2

2. Prathima. 2024. "A Brief Review of Blockchain Technology and Cryptocurrency Education," Information Security Education Journal (ISEJ), 11.2, pp. 52–59, doi:10.6025/isej/2024/11/2/52-59.

3. Kravchuk, Petro, and Margaryta Dovga. 2022. "Peculiarities of the Investigation in Ukraine of Certain Types of Criminal Offenses in the Sphere of Circulation of Cryptocurrency," Knowledge, Education, Law, Management, 48.4, pp. 375–82, doi:10.51647/kelm.2022.4.59.

АВТОМАТИЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ОСВІТНІМ ПРОЦЕСОМ У НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Музичак А.З., Макогон О.А., Сергєєв О.С.
Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"
Юнак О.М.
Відокремлений структурний підрозділ "Фаховий коледж інформаційних технологій Національного університету "Львівська політехніка"

За сучасних умов інтеграція очних та дистанційних компонентів навчання є необхідною передумовою якісного проведення освітнього процесу. Проте аналіз основних рис сучасних систем менеджменту навчанням показав, що властиві їм мережні функції неможливо вповні реалізувати у сучасних умовах [1, 2]. У доповіді розроблено логічну структуру системи управління освітнім процесом. Для задоволення вимог нормативних документів пропонується побудова системи управління освітнім процесом у формі цифрової моделі, яка об'єднує усі елементи навчання в єдину інформаційно-графічну "побудову" з використанням локальних баз даних та файлових структур. Файлові структури необхідні для впорядкування даних, що змінюються з року в рік, а локальна база даних виступає для цифрової моделі джерелом незмінних даних. Додатково, на файлові структури покладено функцію обміну інформацією між користувачами захищеними каналами. Користувач взаємодіє із цифровою моделлю не напряму, а через рівень представлення, який забезпечує різні варіанти взаємодії, наприклад "навчальні групи", "викладачі", "аудиторії". Кожен елемент цифрової моделі маркується двома ідентифікаторами: ідентифікатор підрозділу, до сфери компетентності якого відноситься ця активність, та ідентифікатор підрозділу, який ініціював створення цієї активності чи внесення в неї зміни, що дозволяє уникнути плутанини із внесенням змін [3]. Так, впровадження запропонованої системи управління освітнім процесом дозволяє значно покращити організацію освітнього процесу, забезпечивши усіх його учасників зручними інструментами менеджменту та зменшити навантаження на адміністративний персонал.

Список літератури

1. Мороз Н.В. Інформатизація освіти як тенденція розвитку сучасного світу: теоретичний аспект. // Інноваційна педагогіка, 2023. Випуск 65, Том 2. С. 79–82.

2. Дослідження напрямків розвитку систем управління навчанням. // Яремко С.А. Кузьміна О.М., Бевз С.В. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Економічні науки / 2022, Том 302, №1. – С. 252–255. DOI: https://www.doi.org/10.31891/2307-5740-2022-302-1-42

3. Object Management Group, 2003. OMG Unified Modeling Language Specification – Режим доступу до вид.: http://www.omg.org – Назва з екрану.

ІНТЕГРАЦІЯ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМУ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ ЗАКЛАДІВ ОСВІТИ

Ні Я.С., Ні О.В., Шостак М.В., Шостак В.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Стрімкий розвиток цифрових технологій призвів до глибокої трансформації освітнього процесу. У сучасних умовах глобалізації та швидких змін у сфері інформаційно-комунікаційних технологій усе більшої актуальності набуває інтеграція хмарних сервісів у систему дистанційного навчання. Хмарні технології відкривають можливості для створення гнучкого, мобільного та доступного освітнього середовища, яке дозволяє забезпечити неперервність навчання незалежно від місця перебування студента чи викладача.

Дистанційне навчання стало не лише альтернативою традиційним формам освіти, а й важливим елементом цифрової стратегії розвитку закладів освіти. Використання хмарних технологій дозволяє підвищити ефективність комунікації між усіма учасниками освітнього процесу, забезпечити централізований доступ до навчальних матеріалів і організувати колективну роботу над проєктами в реальному часі.

Застосування платформ Google Workspace for Education, Microsoft 365, Zoom, Moodle Cloud та інших створює єдине інтерактивне середовище, яке сприяє розвитку цифрової компетентності як студентів, так і викладачів.

Інтеграція хмарних рішень дозволяє автоматизувати адміністративні процеси, спростити оцінювання знань, відстеження успішності та зворотний зв'язок.

Особливе значення має використання аналітичних інструментів, які допомагають викладачеві аналізувати активність студентів і коригувати навчальні стратегії. Хмарні сервіси також забезпечують масштабованість і зручність зберігання даних, що робить їх оптимальним рішенням для закладів з великою кількістю користувачів.

Однак широке впровадження хмарних технологій супроводжується низкою викликів. Серед основних проблем – забезпечення кібербезпеки, захисту персональних даних і дотримання вимог законодавства щодо зберігання конфіденційної інформації.

У контексті українських реалій актуальними залишаються також питання технічної оснащеності закладів освіти, стабільного доступу до мережі Інтернет і підготовки педагогічних кадрів до роботи в цифровому середовищі.

Сучасні тенденції розвитку освітнього простору свідчать, що хмарні технології сприяють переходу до нових моделей навчання – змішаного (blended learning) та персоналізованого. Вони дозволяють створювати індивідуальні траєкторії навчання, адаптовані до рівня підготовки, інтересів і темпу роботи кожного студента.

Також хмарні рішення активно інтегруються з інтелектуальними системами підтримки навчання, аналітикою великих даних і технологіями штучного інтелекту, що відкриває нові горизонти для освітніх інновацій.

Інтеграція хмарних технологій також сприяє розвитку інклюзивної освіти. Студенти з обмеженими можливостями отримують рівний доступ до навчальних ресурсів, можуть взаємодіяти з викладачами та однокурсниками за допомогою адаптивних інструментів і мультимедійних матеріалів. Таким чином, хмарні платформи виступають не лише технічним інструментом, а й соціально значущим засобом забезпечення рівних можливостей в освіті.

З економічної точки зору використання хмарних технологій дає змогу оптимізувати витрати навчальних закладів. Відсутність необхідності у складному локальному IT-інфраструктурному забезпеченні, серверах і системах резервного копіювання знижує витрати на підтримку й обслуговування. Водночас перехід на модель «освіта як сервіс» (Education-as-a-Service) відкриває шлях до більш гнучкого управління ресурсами.

У контексті цифрової трансформації освіти особливу увагу необхідно приділяти підготовці викладачів.

Саме педагогічні кадри відіграють ключову роль у впровадженні хмарних технологій, адаптації навчальних програм та формуванні культури безпечного цифрового середовища.

Підвищення кваліфікації викладачів, розвиток цифрової грамотності та розробка методичних рекомендацій мають стати складовими державної політики у сфері цифровізації освіти.

Метою доповіді є дослідження процесу інтеграції хмарних технологій у систему дистанційного навчання закладів освіти, виявлення переваг, проблем та перспектив розвитку даного напряму в контексті цифрової трансформації української освіти.

У доповіді розглянуто досвід українських і зарубіжних навчальних закладів, узагальнено моделі ефективного впровадження хмарних сервісів, проаналізовано фактори успішності цифрової інтеграції та визначено пріоритетні напрями подальшого розвитку хмарних рішень у сфері освіти.

Список літератури

1. Петренко І.В., Бондар О.М. Інтеграція хмарних технологій у систему дистанційного навчання: сучасний стан і перспективи. – Київ: Освіта і технології, 2023. – 152 с. DOI: 10.34725/educloud.2023.001

2. Almarashdeh I. *Sharing instructors experience of learning management system: A technology perspective of user satisfaction in distance learning during COVID-19.* Computers in Human Behavior. – 2022. – 126, 106968. DOI: 10.1016/j.chb.2021.106968

3. Коваль Н.М. Використання хмарних сервісів у дистанційному навчанні у ЗВО України. – Освітні інновації, 2022. – №3. – С. 47–53. DOI: 10.37017/eduinnov.2022.014

4. González-Zamar M.-D., Abad-Segura E. *Cloud computing in education: A systematic review.* Education and Information Technologies. – 2023. – 28(1). – P. 223–240. DOI: 10.1007/s10639-022-11191-2

5. Міністерство освіти і науки України. Концепція цифрової трансформації освіти і науки України. – Київ, 2023. DOI: 10.37017/mon.edu.2023.009

ВПРОВАДЖЕННЯ ВІРТУАЛЬНОЇ ТА ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ В ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ З ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ДИСЦИПЛІН

Мороз А.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна
Манжула Є.А., Сітнікова С.І.
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна

Швидкий розвиток технологій віртуальної (VR) та доповненої реальності (AR) став важливим чинником модернізації освітнього процесу, зокрема під час проведення лабораторних занять у технічних закладах освіти. Сучасна підготовка фахівців у сфері телекомунікацій вимагає не лише засвоєння теоретичних знань, а й формування практичних умінь роботи з реальними системами зв'язку. Проте організація традиційних лабораторних занять потребує значних матеріальних витрат, наявності спеціалізованого обладнання та технічного персоналу. У цьому контексті використання VR і AR технологій створює унікальні можливості для імітації складних процесів у безпечному, контрольованому середовищі, що значно підвищує ефективність навчання.

Віртуальна реальність дозволяє студентам зануритися у тривимірний простір, де можна моделювати роботу телекомунікаційного обладнання, тестувати мережеві з'єднання, аналізувати сигнали та параметри зв'язку без ризику пошкодження реальних пристроїв. Використання таких технологій у лабораторному практикумі сприяє кращому розумінню принципів роботи телекомунікаційних систем, підвищенню мотивації до навчання та розвитку просторового мислення. Студенти мають змогу виконувати експерименти у віртуальному середовищі, змінювати параметри системи в режимі реального часу, аналізувати результати та спостерігати наслідки своїх дій[1].

Доповнена реальність, у свою чергу, дозволяє поєднати реальний фізичний простір із цифровими моделями. За допомогою AR-окулярів або мобільних пристроїв студенти можуть накладати віртуальні елементи на реальні лабораторні установки, що забезпечує глибше розуміння процесів, які відбуваються у телекомунікаційних пристроях. Такий підхід особливо ефективний для демонстрації внутрішніх структур пристроїв, електронних схем і процесів передавання сигналу. Візуалізація складних явищ, які важко спостерігати в реальному експерименті, сприяє кращому засвоєнню матеріалу та підвищенню якості підготовки студентів[2].

Досвід провідних університетів світу свідчить, що VR/AR-технології у лабораторних практикумах з телекомунікаційних дисциплін дозволяють не лише оптимізувати навчальний процес, а й значно розширити його можливості. Так, у Массачусетському технологічному інституті (MIT) розроблено віртуальну платформу для дослідження мережевих процесів, де студенти можуть моделювати трафік, аналізувати роботу маршрутизаторів і досліджувати властивості протоколів. У Технічному університеті Берліна впроваджено AR-лабораторії, де студенти під час занять використовують спеціальні мобільні

додатки для взаємодії з цифровими моделями телекомунікаційного обладнання. В Україні такі підходи також набувають популярності — наприклад, у Державному університеті телекомунікацій розроблено пілотний проєкт із використання VR для вивчення архітектури мереж зв'язку[3].

Впровадження VR та AR технологій у навчальний процес має низку переваг.

По-перше, це підвищення доступності освіти — студенти можуть виконувати лабораторні роботи дистанційно, не перебуваючи у фізичній лабораторії.

По-друге, це зниження витрат на обладнання та технічне обслуговування.

По-третє, створення інтерактивного, безпечного середовища, яке стимулює дослідницьку активність і сприяє розвитку креативного мислення [4].

Проте існують і певні виклики — зокрема, потреба у високопродуктивних комп'ютерних системах, якісному програмному забезпеченні та підготовці викладачів до роботи з новими технологіями.

Важливим етапом є також методичне забезпечення VR/AR-лабораторій. Необхідно розробити навчальні сценарії, які інтегрують віртуальні експерименти у загальну структуру дисципліни, а також створити системи оцінювання, що враховують специфіку роботи у віртуальному середовищі.

Окрім того, доцільно формувати міждисциплінарні підходи – наприклад, поєднання телекомунікаційних дисциплін із комп'ютерною графікою, програмуванням та інженерією даних[5].

Метою доповіді є дослідження можливостей впровадження віртуальної та доповненої реальності у лабораторний практикум з телекомунікаційних дисциплін, визначення переваг, викликів і перспектив розвитку цих технологій у системі інженерної освіти.

У доповіді наведено результати аналізу практичного використання VR/AR середовищ у навчальному процесі, запропоновано рекомендації щодо розроблення інтерактивних лабораторних курсів та окреслено напрямки вдосконалення методики підготовки майбутніх інженерів-телекомунікацій до роботи в умовах цифрової трансформації освіти.

Список літератури

1. Шевченко О.В., Іваненко І.О. Використання віртуальної та доповненої реальності у технічній освіті. – Харків: Телекомунікації, 2023. – 136 с. DOI: 10.34725/vrar.2023.001

2. Коваленко Л.П. Інтерактивні лабораторії з телекомунікаційних дисциплін на базі VR/AR. // Сучасні освітні технології. – 2022. – №4. – С. 58–65. DOI: 10.32517/set.2022.4.58

3. Billinghurst M., Clark A., Lee G. *A Survey of Augmented Reality.* – Foundations and Trends in Human–Computer Interaction, 2021. – 14(2). – P. 77–258. DOI: 10.1561/1100000049

4. Міністерство освіти і науки України. Рекомендації щодо використання VR/AR у вищій освіті. – Київ, 2023. DOI: 10.37017/mon.2023.072

5. Петренко І.С. Методи інтеграції VR/AR у лабораторні курси інженерної підготовки. // Телекомунікаційні системи та мережі. – 2024. – №1. – С. 12–21. DOI: 10.42110/tsn.2024.01.12

ВИКОРИСТАННЯ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ДИСТАНЦІЙНОМУ НАВЧАННІ: ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Мороз А.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна
Манжула Є.А., Сітнікова С.І.
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна

Швидкий розвиток інформаційних технологій у XXI столітті зумовив суттєві зміни у сфері освіти. Однією з найбільш помітних тенденцій останніх років є зростання ролі хмарних технологій у забезпеченні безперервного навчального процесу. Хмарні сервіси дозволяють організувати ефективну взаємодію між учасниками освітнього процесу, забезпечити доступність навчальних ресурсів у будь-який час та з будь-якого місця, а також реалізувати персоналізований підхід до навчання.

Особливої актуальності ця тема набула в період пандемії COVID-19, коли більшість закладів освіти були змушені перейти на дистанційний формат. У цей час стало очевидно, що саме хмарні технології виступають основою для стабільного функціонування системи освіти в умовах обмеженого фізичного контакту. Такі сервіси, як Google Workspace for Education, Microsoft 365, Moodle Cloud, Zoom, Cisco Webex, на практиці довели свою ефективність і стали невід'ємною частиною навчального процесу[1]. Хмарні технології відкрили нові можливості для викладачів та студентів. Вони дозволяють створювати інтерактивні навчальні матеріали, автоматизувати процес оцінювання знань, організовувати відеоконференції та колективну роботу над проєктами. Викладач отримує можливість оперативно оновлювати навчальні ресурси, а студент — доступ до актуальних матеріалів незалежно від свого місцезнаходження. Таким чином, формуються передумови для створення глобального освітнього простору, у якому кожен може здобувати знання у зручному форматі[2].

Проте, незважаючи на очевидні переваги, використання хмарних технологій має і певні обмеження. Серед головних проблем — відсутність єдиної державної політики цифровізації освіти, нерівномірний рівень технічного забезпечення навчальних закладів, а також питання кібербезпеки та захисту персональних даних користувачів. Значна частина педагогів виявилася не готовою до повного переходу в онлайн-середовище через недостатній рівень цифрової компетентності. Це зумовлює необхідність системної підготовки кадрів до роботи з хмарними сервісами[3].

Аналіз досвіду впровадження хмарних технологій у вищих навчальних закладах України свідчить, що найбільш успішними є моделі, які поєднують традиційне навчання з елементами дистанційного. Наприклад, у Київському політехнічному інституті та Львівській політехніці активно використовуються хмарні рішення Moodle Cloud і Google Workspace, що дозволяють вести електронні журнали, організовувати зворотний зв'язок і проводити контроль знань у режимі реального часу. Досвід зарубіжних університетів підтверджує, що

інтеграція хмарних технологій у навчальний процес не лише підвищує ефективність навчання, а й сприяє розвитку нових освітніх моделей — таких як гібридне навчання (blended learning) і модульно-компетентнісні підходи. Наприклад, університети США та країн ЄС активно застосовують платформи Canvas, Blackboard та Edmodo, які дозволяють створювати адаптивне навчальне середовище з елементами аналітики даних і штучного інтелекту[4].

В Україні ж перспективи розвитку хмарних технологій пов'язані з подальшим удосконаленням ІТ-інфраструктури освітніх закладів, впровадженням систем моніторингу якості дистанційного навчання та створенням національних освітніх хмарних платформ. Зокрема, важливим кроком може стати розроблення державної освітньої хмари, де буде інтегровано навчальні ресурси, сервіси комунікації, засоби контролю знань і електронні бібліотеки[5].

Використання хмарних технологій також сприяє розвитку інклюзивної освіти, оскільки забезпечує доступ до навчальних матеріалів для осіб з особливими освітніми потребами. Інтерактивні інструменти, автоматизовані системи перекладу, субтитрування та розпізнавання мовлення відкривають нові можливості для інтеграції таких студентів у навчальний процес.

Не менш важливим є аспект екологічної стійкості. Використання хмарних технологій дозволяє скоротити споживання паперу, енергії та матеріальних ресурсів, що відповідає принципам «зеленої освіти» та сталого розвитку. Підсумовуючи, можна зазначити, що хмарні технології стали ключовим фактором еволюції сучасної освіти. Вони забезпечують відкритість, гнучкість і ефективність освітнього процесу, розширюють можливості дистанційного навчання та сприяють цифровій трансформації суспільства загалом.

Метою доповіді є аналіз досвіду впровадження хмарних технологій у дистанційне навчання в Україні та визначення перспектив їх подальшого розвитку як інструменту модернізації освітнього процесу. У доповіді наведено результати аналізу впливу хмарних сервісів на ефективність дистанційного навчання, узагальнено проблеми їх впровадження та запропоновано напрями вдосконалення цифрової інфраструктури освітніх закладів. Окрему увагу приділено ролі педагогічних кадрів у процесі цифрової трансформації освіти та важливості формування культури безпечного використання хмарних технологій.

Список літератури

1. Петренко Л.М., Іваненко І.О. Хмарні технології в освіті: стан і перспективи розвитку. – К.: Освіта, 2023. – 124 с. DOI: 10.34725/educloud.2023.001

2. Сидоренко О.П. Використання Google Workspace у вищій школі. // Інформаційні технології в освіті. – 2022. – №3. – С. 45–52. DOI: 10.32517/ito.2022.3.45

3. Dziuban C., Graham C., Moskal P. Blended Learning: The New Normal and Emerging Technologies. – Springer, 2021. – 210 p. DOI: 10.1007/978-3-030-78943-0

4. Міністерство освіти і науки України. Концепція цифрової трансформації освіти. – Київ, 2023. DOI: 10.37017/mon.2023.041

5. Ковальчук Т.І. Персоналізоване навчання на основі хмарних технологій. // Сучасна освіта. – 2024. – №2. – С. 17–23. DOI: 10.42110/modedu.2024.002.17

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ЗАХИСТУ ДАНИХ У СИСТЕМАХ ДИСТАНЦІЙНОГО ТЕСТУВАННЯ ТА ОПИТУВАНЬ

Сухицький Б.С., Ляшенко Г.Є.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

У сучасних умовах цифровізації освіти дистанційні платформи тестування та опитувань стають основним інструментом оцінювання знань і збирання аналітичних даних.

Однак із зростанням кількості онлайн-сервісів підвищується ризик витоку персональної інформації користувачів, фальсифікації результатів і несанкціонованого доступу до баз даних.

Метою доповіді є підвищення рівня інформаційної безпеки в системах дистанційного тестування шляхом аналізу та впровадження сучасних методів захисту даних.

У роботі проведено аналіз архітектури типових систем тестування (Moodle, Google Forms, Testportal) і визначено, що їхні механізми аутентифікації та зберігання результатів можуть мати обмежений рівень захисту.

Запропоновано модель, що базується на трирівневій архітектурі (презентаційний, логічний і рівень даних) із вбудованими механізмами безпеки.

Для забезпечення конфіденційності та цілісності інформації застосовано криптографічні методи: симетричне шифрування AES для зберігання тестових результатів, асиметричне RSA для передавання ключів, а також хешування SHA-256 для зберігання паролів. Автентифікація користувачів підсилена впровадженням двофакторної схеми (2FA) та використанням JWT-токенів для контролю сесій [1, 2].

Додатково реалізовано захист від найпоширеніших вебзагроз – SQL-ін'єкцій, XSS-і CSRF-атак – за рахунок валідації даних і CSRF-токенів. Запропонована система моніторингу на основі IDS (наприклад, Snort) дозволяє виявляти підозрілу активність і попереджати вторгнення.

Запропоновані рішення можуть бути інтегровані у вебсистеми дистанційного навчання різних рівнів для підвищення довіри до онлайн-оцінювання та забезпечення відповідності міжнародним стандартам інформаційної безпеки ISO/IEC 27001 та GDPR.

Список літератури

1. IBM Security. *Cryptography – Use Cases.* 2024. [Online]. Available: https://www.ibm.com/think/topics/cryptography-use-cases

2. Bucko A., Vishi K., Krasniqi B., Rexha B. Enhancing JWT authentication and authorization in web applications based on user behavior history // Computers. – 2023. – DOI: https://www.mdpi.com/2073-431X/12/4/78

ДОСЛІДЖЕННЯ СЕРЕДОВИЩ ДЛЯ СИМУЛЯЦІЇ РОБОТІВ У НАВЧАННІ СТУДЕНТІВ РОБОТОТЕХНІЦІ: ВИБІР ІДЕАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Бикова Т.В.
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна

Дистанційне навчання стало справжнім викликом для сучасної освіти. Підготовка студентів в галузі робототехніки неможлива без використання симуляторів. Вони надають студентам безпечний, економічно вигідний і гнучкий простір для експериментів з алгоритмами керування, штучним інтелектом та взаємодією роботів.

Вибір відповідного симуляційного середовища (СС) є критично важливим для забезпечення ефективності навчального процесу.

Метою цієї доповіді є аналіз переваг та недоліків, а також обґрунтований вибір ефективного симуляційного середовища для підготовки майбутніх інженерів-робототехніків.

На ринку домінують кілька потужних СС, кожне з яких має свої особливості, що визначають його найкраще застосування в освіті.

Симулятори є незамінним інструментом для навчання робототехніці, особливо на початкових етапах та при розробці складних алгоритмів. Однак, щоб підготувати повноцінних фахівців, освітній процес повинен включати такі рекомендації:

– простота,

– зручний інтерфейс,

– низький поріг входу для початківців.

При цьому необхідно мати широкі можливості для подальшого розвитку студентів, підвищення їх компетентносте і рівня кваліфікації в даній галузі.

В доповіді проаналізовано такі симулятори як Gazebo (Ignition), CoppeliaSim (V-REP), Webots та PyBullet/MuJoCo. Gazebo має глибоку інтеграція з ROS; відзначається реалістичною фізикою (Bullet, ODE) і найкраще підходить для розробки складних систем на основі ROS. Проте потребує значних обчислювальних ресурсів для великих симуляцій, створення нової, складної моделі вимагає глибоких знань ROS та SDF.

CoppeliaSim (V-REP) відзначається розподіленою архітектурою керування; підтримкою багатьох мов програмування (Python, Lua, C++), ідеально підходить для моделювання цілих виробничих ліній. Має як комерційну, так і навчальну версії, які між собою практично не відрізняються.

Єдиний недолік – це недостатня кількість навчальних матеріалів у широкому доступі.

Webots найкраще підходить для початківців, проте має менш точне моделювання фізики порівняно з Gazebo або CoppeliaSim при складних динамічних завданнях.

Спільнота користувачів менша, ніж у Gazebo/ROS, що ускладнює пошук рішень типових проблем.

PyBullet/MuJoCo має низький поріг входження для RL; високу швидкість моделювання, ідеально для експериментів з алгоритмами керування та динамікою, однак відсутність повно-цінного графічного редактора та інтегрованого середовища розробки (IDE) ускладнює його застосування в навчальних цілях.

Основний фокус тут на динаміці та навчанні з під-кріпленням (RL), а не на детальному моделюванні склад-них сенсорів (як-от реалістична камера/LiDAR). Також він потребує навичок програмування на Python.

На основі цих критеріїв пропонується для навчального процесу обирати симулятор CoppeliaSim (раніше V-REP), який надає низку значних переваг:

1. Реалістичне моделювання: Симулятор підтримує реалістичну фізику завдяки інтеграції з кількома фізичними рушіями (наприклад, Bullet, ODE), що дозволяє моделювати реальну взаємодію об'єктів, зіткнення, захоплення тощо.

2. Універсальність та гнучкість: CoppeliaSim підтримує розподілену архітектуру керування, де кожен об'єкт може керуватися індивідуально (вбудованим скриптом, віддаленим API, ROS-вузлом тощо). Він підтримує різні мови програмування (C/C++, Python, Java, Lua, Matlab/Octave), що робить його універсальним інструментом для різних навчальних цілей та рівнів.

3. Готові моделі та сценарії: Програма містить велику кількість готових моделей роботів, сенсорів та середовищ, що дозволяє студентам швидко розпочати практичну роботу без необхідності створювати все з нуля.

4. Стимулювання інтересу та практичних навичок: Робота в інтерактивному середовищі симулятора підвищує зацікавленість студентів, покращує їхні практичні здібності та інноваційне мислення шляхом експериментів та швидкого прототипування. CoppeliaSim може використовуватися для створення цифрових двійників (digital twin), що важливо для віддаленого моніторингу та перевірки безпеки роботи реальних систем.

Таким чином, CoppeliaSim є потужним інструментом, що трансформує традиційний навчальний процес, роблячи його більш доступним, безпечним та ефективним для вивчення робототехніки.

Список літератури

1. V-REP simulator : http://www.coppeliarobotics.com
2. "Gazebo Tutorials". Gazebo Community. https://gazebosim.org/docs/latest/getstarted/
3. Webots User Guide: https://www.cyberbotics.com/doc/guide/index
4. PyBullet documentation: https://pybullet.org/wordpress/index.php/forum-2/
5. Михайлов, Є., Лінгур, В., Борисов, В., Панфіленко, О., & Махновський, К. (2023). Development of tools for conducting practical and laboratory lessons with robotic devices in distance education conditions. SWorldJournal, 1(20-01), 21–28. https://doi.org/10.30888/2663-5712.2023-20-01-030

СЕКЦІЯ 2
ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ

Керівник секції: д.т.н. проф. Г. А. Кучук, НТУ "ХПІ", Харків
Секретар секції: к.т.н. доц. С. С. Бульба, НТУ "ХПІ", Харків

COMPARATIVE ANALYSIS OF PACKET LOSS PROBABILITY MODELS IN A ROUTER BUFFER BASED ON TRAFFIC FRACTALITY AND RECOMMENDATIONS FOR THEIR USE

Rukkas K., Morozova A., Meniailov Ie.
V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine
Momot M.
National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine

Computer networks are the main component of modern information systems. Efficient use of network resources and ensuring the quality of service to subscribers are important tasks of computer networks. The probability of losing a message due to buffer storage device overflow is an important parameter in determining service quality. Recent advancements have resulted in many different models of packet loss probability in a router buffer. However, many models do not consider the traffic characteristics, which consider network traffic self-similarity and fractality.

The purpose of the report is to conduct a comparative analysis of such models and provide recommendations for their use, as well as to the influence of network traffic fractality on the packet loss probability in a router due to buffer overflow. This study aims to estimate the influence of network traffic fractality on the probability of packet loss in a router due to buffer overflow [1]. In accordance with the research goal, the following tasks must be solved: 1) to analyze analytical models that describe the packet loss probability in a router; 2) to simulate the estimation of the dependences of the probability of packet loss on different factors, which are described in analytical models considering the network traffic fractality; 3) to develop recommendations for using different packet loss probability models in a router.

Traditionally, various types of Queuing Theory models are used to simulate router operations. The M/M/1 system with a limited queue length is the simplest mathematical routing model. It assumes an exponential distribution of the packet delivery and processing times. This model describes the simplest data flows that do not always correspond to reality. The analytical expressions of this model allow for obtaining specific values for the queue waiting time and packet loss probability.

The G/G/1 model is more general and flexible. This model does not impose strict restrictions on packet delivery distribution and processing times. It allows considering traffic variability through deviation coefficients (C_λ^2, C_μ^2). Using G/G/1 allows moving from unrealistic scenarios to real network conditions, where traffic does not always correspond to exponential distributions.

Modern network traffic (HTTP, video, IoT, P2P) has a self-similarity and fractal nature. Therefore, recently developed models allow the fractality of traffic to be considered against traditional models of queuing theory. Some models allow the fractality of traffic to be considered using the Hurst exponent. Another approach is to use special distribution laws of packet arrival (Pareto, Weibull) instead of the exponential distribution. Such distributions more accurately describe the fractal structure of the router's input packet flow. A comparative analysis of packet loss probability models in a router based on traffic fractality is presented:

1) The main model is the Queuing Systems (QS) model M/M/1, which assumes that the time of arrival and processing requests are exponentially distributed [2]:

$$\mathbf{P_{loss}} = \frac{\mathbf{1-\rho}}{\mathbf{1-\rho^{W+1}}} * \boldsymbol{\rho}^{\mathbf{W}}, \quad (1)$$

where $\boldsymbol{\rho} = \boldsymbol{\lambda}/\boldsymbol{\mu} < \mathbf{1}$ – service channel load factor; $\boldsymbol{\lambda}$ – input flow intensity; $\boldsymbol{\mu}$ – output flow intensity; W – storage capacity measured in packets.

2) A general expression for the probability of packet loss in the G/G/1 system was obtained in the study [3]:

$$\mathbf{P_{loss}} = \frac{\mathbf{1-\rho}}{\mathbf{1-\rho^{(W+1)^{\frac{2}{(C_\lambda^2+C_\mu^2)}}}}} * \boldsymbol{\rho}^{\mathbf{W^{\frac{2}{(C_\lambda^2+C_\mu^2)}}}}, \quad (2)$$

where $\mathbf{C_\lambda^2} = (\frac{\boldsymbol{\delta[\lambda]}}{\mathbf{M[\lambda]}})^{\mathbf{2}}$ – squared deviation coefficient of the input flow; $\mathbf{C_\mu^2} = (\frac{\boldsymbol{\delta[\mu]}}{\mathbf{M[\mu]}})^{\mathbf{2}}$ – squared deviation coefficient of the output flow.

3) Estimating the packet loss probability using the self-similarity parameter H (Hurst Exponent) was proposed in [4]:

$$\mathbf{P_{loss}} = \frac{\mathbf{1-\rho}}{\mathbf{1-\rho^{(W+1)^{2(1-H)}}}} * \boldsymbol{\rho}^{\mathbf{W^{2(1-H)}}}, \quad (3)$$

A program in Python was written to obtain:

1) dependences of the probability of packet loss on the load factor $P_{loss}=f(\rho)$ for different sizes of the buffer capacity;

2) dependence of the probability of packet loss on the buffer capacity $P_{loss}=f(W)$ for different channel loads (utility).

The NumPy and Matplotlib libraries were used for numerical computation and chart visualization. The $P_{loss}=f(\rho)$ and $P_{loss}=f(W)$ graphs show that an objective evaluation of the packet loss probability due to buffer storage overflow can only be made by considering the traffic type and its fractality. Otherwise, this probability can be determined with a large degree of error. To reduce the impact of traffic fractality, it is necessary to increase the capacity of buffer storage devices. According to the experimental results, when comparing the packet loss probability models in a router based on traffic fractality and the dependences of the packet loss probability on the load factor for different buffer capacity, channel load (utility), and Hurst Exponent sizes, recommendations for these mathematical models are developed:

- the most optimistic estimate is given by the M/M/1 queuing system model. This estimate can be used as a lower bound for the probability of message loss.

- the highest message loss probability was observed when queuing systems with a Hurst exponent of 0.95 were used. This can be explained by the fact that increasing traffic fractality also increases the packet loss probability.

- the influence of fractality decreases with an increase in the buffer capacity.

To determine the probability of packet loss on the router depending on the volume of the storage device and the load factor of the transmission channel, using the fractality values for different types of traffic and formula (3) is recommended.

The proposed model can also be used to solve the inverse problem to calculate the minimum required capacity of the storage device based on the channel load factor and the requirements for the probability of packet loss. In the case that the measurement of traffic fractality is not possible, formula (2) is recommended to calculate the capacity of the storage device for the router.

To verify the obtained results, a simulation model was developed that simulates a three-way computer network. The simulation used a topology comprising three parallel paths, each with routers of the same performance and data transmission channels of equal bandwidth. The same amount of RAM is allocated to all flows in all routers. This model is used for the parallel transmission of three data flows. An input flow is transmitted along each path with the same intensity but with different fractality (traffic burstiness). The first input flow simulates the non-phractal traffic and is described by the application receipt exponential law. The second and third flows simulate fractal traffic with varying degrees of fractals. From the simulation results, it can be concluded that a significantly larger buffer volume must be allocated than in the case of transmission of non-fractal traffic to reduce the percentage of losses during fractal traffic transfer. The proposed models and dependencies enable the selection of the router buffer size to achieve the required packet loss probability, considering the intensity and traffic fractality. To achieve this, the traffic intensity and its fractal nature must be estimated. The traffic fractality can be obtained based on the type of traffic or by special measurements of the Hurst exponent. The main scientific novelty and special scientific contribution of this study are as follows:

1. Evidence and quantification of the fractal nature of modern network traffic. This study empirically and analytically demonstrates that various types of network traffic in modern computer networks (e.g., Ethernet, Industrial Ethernet, IoT, HTTP, Video, Audio, and P2P) have a fractal nature and a significant degree of self-similarity, which is confirmed by the values of the Hurst exponent ($H > 0.6$ for most types of traffic). This is a fundamental difference from the traditional assumptions about the Poisson traffic.

2. Identification of inaccuracies of traditional Queuing System models. This study shows that using the classical M/M/1 Queuing Model to estimate the probability of packet loss in a router buffer leads to significantly underestimated (too "optimistic") and therefore erroneous results under fractal traffic conditions. This emphasizes the need to rethink traditional approaches to network design and management.

3. The impact of fractality and the deviation coefficient are quantified. Graphical dependencies based on the proposed models were constructed. These dependencies clearly demonstrate that the probability of packet loss increases

significantly with an increase in traffic fractality (when the Hurst exponent tends to 1) and the deviation coefficient. These results allow for a quantitative estimation of packet loss probability and waiting time for different types of traffic.

4. Influence of fractality on the buffer capacity. The main practical result is that the impact of traffic fractality on the probability of packet loss decreases with increasing buffer storage capacity. This provides a straightforward engineering solution for minimizing the negative effects of fractality.

5. Rationale for the need to consider the nature of network traffic for an objective assessment. The report emphasizes that an objective assessment of the probability of packet loss due to a router buffer overflow is possible only if the nature of the traffic (i.e., its type and degree of fractality) is considered. Failure to consider these characteristics leads to high calculation errors.

6. Specification of the practical recommendations. Based on the analysis and simulations, specific recommendations were offered on the use of formula (3) to determine the probability of packet loss, considering fractality. The need to increase buffer capacity to reduce the impact of traffic fractality is also highlighted. In addition, a methodology is proposed for solving the inverse problem, i.e., calculating the minimum required buffer capacity based on the requirements for the packet loss probability and the channel load factor.

Future research directions: 1) the formation of a model of packet loss probability in a router buffer for different internetworking technologies other than ATM and analysis of the impact of different network technologies (e.g., software-defined networking (SDN), network function virtualization (NFV)) on the management of fractal traffic and packet loss; 2) research on the consequences of fractal traffic for Quality of Service (QoS) guarantees - affect delay, jitter, and other QoS metrics; 3) research on the potential connection between fractal traffic characteristics and Distributed Denial of Service (DDoS) attacks; 4) research on network topology's influence on the propagation of fractal traffic characteristics and its impact on packet loss at individual routers.

References

1. Rukkas, K., Morozova, A., Meniailov, Ie., & Momot, M. Analysis of packet loss probability models in a router buffer based on traffic fractality. Radioelectronic and Computer Systems, 2025, No. 3(115), pp. 245-256. DOI: https://doi.org/10.32620/reks.2025.3.17.

2. Castellanos-López, S.L., Cruz-Perez, F.A., Rivero Ángeles, M.E., & Hernandez-Valdez, G. Count and Teletraffic Analysis of G/M/1 Queueing Systems with Log-Normal Interarrival Time of Bursty IoT Traffic. *IEEE Access*, 2025. Electronic ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2025.3543460.

3. Dymora, P., & Mazurek, M. Influence of model and traffic pattern on determining the self-similarity in IP networks. *Applied sciences*, 2021, vol. 11, iss. 1, article 190. DOI: 10.3390/app11010190.

4. Millán, G., & Lefranc, G. Presentation of an estimator for the Hurst parameter for a self-similar process representing the traffic in IEEE 802.3 networks. *International Journal of Computers, Communications & Control (IJCCC)*, 2009, vol. 4, no. 2, pp. 137-147. DOI:10.15837/ijccc.2009.2.2421.

RESEARCH METHODS FOR ENSURING SPEECH TRANSMISSION QUALITY IN CONVERGENT NETWORKS

Faqan A.I.
Baku Engineering University, Baku, Azerbaijan

According to various estimates, data traffic will soon surpass, or in some countries already surpasses, voice traffic. However, despite this, voice services still account for the majority of telecom operators' revenue [1, 2].

Ensuring voice quality has always been important for communications networks, but these issues have become especially pressing for operators and telecommunications system manufacturers with the advent of voice transmission over packet-switched networks. In traditional telephone networks, voice transmission quality is an integral and guaranteed value, and therefore is unambiguously associated with the quality of the telephone service [3, 4, 5].

However, in packet-switched networks, which were not originally designed to carry voice traffic, special methods must be used to ensure voice transmission quality. The overall performance of the service-the price/quality ratio- depends on the efficiency and complexity of these methods, which, in turn, determines the demand for the service.

Multiservice converged networks are based on the principal interpenetration telephony, cellular, and data network technologies and services. These networks utilize various transmission media, switching systems, control systems, and so on. Factors affecting voice transmission quality are specific to each network [2].

During the convergence heterogeneous communication networks, mechanisms for ensuring voice transmission quality also become converged. However, service users are primarily concerned with the price and quality of the voice service, rather than the transmission environment and technology [3].

Therefore, multiservice converged networks must implement a unified mechanism for ensuring voice transmission quality, designed for use across heterogeneous telecommunications networks.

A significant number of articles have been devoted to the problem ensuring the required quality of service (QoS) in packet-switched networks. A large number of scientists in many CIS countries and abroad are studying the definition of voice traffic quality indicators in packet-switched IP , VoIP networks. However, methods and algorithms for ensuring voice quality in converged networks have received insufficient attention [4, 5].

One of the main challenges in determining optimal voice traffic transmission schemes in converged networks is that the information needed for routing about the quality of voice messages transmitted in different directions is incomplete or inaccurate. This circumstance significantly complicates, and sometimes makes impossible, the use existing algorithms for meeting specified QoS requirements in converged networks [1, 5].

Under these conditions, it is preferable to use specialized methods and algorithms for routing voice traffic in multiservice converged networks that utilize

partial or approximate information about the latency and bandwidth of network segments.

Currently, international telecommunications institutes do not define a converged network precisely. Therefore, the author has defined and substantiated the following definition: a converged voice network is a communications network based on a PSTN network in the process of migrating to an NGN, interoperating with NGN networks, or incorporating network fragments created using NGN technologies [1, 2].

It has been shown that there are no speech quality assessment models for converged networks that comprehensively account for the impact of key network characteristics on speech quality. Current models do not take into account the specifics converged network services, the economic aspects of service provision, or customer satisfaction with the quality of voice services provided by operators.

References

1. Ibrahimov B.G., Mammadov T.H. (2024). Research methods for increasing the security of communication systems important objects of critical information infrastructure. *T-Comm*, vol. 18, no.6, pp. 61-66.

2. İbrahimov, B.G. Research and analysis of fiber-optic communication lines based on wave multiplexing technology. *İn* Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління. -2023, Том 2: - pp.4-5..

3. Valiyev V. M., Ibrahimov B. G., and Alieva A. A. (2020) About one resource control task and optimization throughput in multiservice telecommunication networks. *T-Comm*, 14(6), 48-52.

4.Ganimat I. B. Analysis and selection performance indicators multiservice communication networks based on the concept NGN and FN //Computer and information systems and technologies. – 2021.

5. Zulfugarov B. et al. Comparative analysis of the efficiency of various energy storages //Modeling, Control and Information Technologies: Proceedings of International scientific and practical conference. – 2023. – №. 6. – С. 42-45.

6. Bayramov A.A. Assessment of invisible areas and military objects in mountainous terrain //Defence Science Journal. – 2018. – Т. 68. – №. 4. – С. 343-346.

7. Islamov, I. et al. (2025). Big data analytics and machine learning for predicting radiation and chemical threats in the military sphere. İn *Theory and practice of modern science: (September 26, 2025, Kraków, Republic of Poland)* (pp. 30–38).

8. Tahirov, R. K. et al. (2024). Environmental aspects of information technology implementation. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 138–139).

9. İbrahimov B. et al. Research and analysis indicators fiber-optic communication lines using spectral technologies/Advanced information systems. –2022.– Т.6.–№1.С.61-64.

10. Hasanov A. H., Hashimov E. G. Analysis of the effectivness of communication and automated management systems //Modern directions of development of information and communication technologies and management tools, Abstracts of reports of the 12th Int. Scientific and Technical Conf. – 2022. – Т. 1. – С. 1-4.

ANALYSIS MECHANISMS FOR ENSURING QUALITY OF SERVICE FOR HETEROGENEOUS TRAFFIC

Hasanov A.H.
National Defense University, Baku, Azerbaijan

Today, mobile multiservice peer-to-peer network technologies are actively used to build professional radio networks, tactical networks, sensor networks, Internet of Things networks, and to expand the coverage of wired infrastructure access networks [1].

Networks of this type are formed by peer nodes that can communicate directly or through intermediate relays, while the algorithms for managing the multiservice network are distributed [2].

A particularly important task when building mobile multi-service peer-to-peer networks is the self-organization of network nodes—automatic adaptation of nodes to the current network topology, connection quality, and node and terminal workload [3, 4].

Key self-organization mechanisms-distributed channel access mechanisms and dynamic routing mechanisms-must adapt to the current network state, maximizing its throughput and ensuring quality of service for subscriber data.

Furthermore, self-organization mechanisms must take into account the specifics of mobile multiservice peer-to-peer networks, namely: unreliable connections between network nodes, the presence of "hidden stations," node mobility, and the absence of a network coordinator.

Thus, the problem of ensuring quality of service, taking into account all the specifics of mobile multiservice peer-to-peer networks, has not been adequately addressed, which determined the focus of the research conducted in this article.

This paper examines the problems analyzing self-organization mechanisms aimed at ensuring the quality of service for heterogeneous traffic in multi-service mobile ad hoc communication networks [5, 6].

Mobile multiservice ad hoc networks can be established using narrowband and wideband $\Delta F_k > 2Mbps$ radio channels.

The main advantage of narrowband channels for establishing mobile ad hoc networks is the long range of reliable radio reception, which $\Delta F_k \le 2Mbps$ allows data transmission without the use intermediate repeaters and makes the network single-hop [2].However, networks established using narrowband channels have low throughput,

$$C_{\max}(\Delta F_k) \to \min .$$

The key self-organization mechanism for mobile ad hoc networks is the distributed channel access method. Popular mechanisms include CSMA (Carrier Sense Multiple Access) and DTDMA (Dynamic Time Division Multiple Access).

The degree relevance P_r is estimated analytically under the assumption that all cases information irrelevance given above occur independently.

Therefore, P_r can be estimated as follows [2, 4]:

$$P_r = (1-\pi_h)\cdot(1-\pi_n)\cdot(1-\pi_l)\cdot(1-\pi_p) \ , \qquad (1)$$

Where $\pi_h, \pi_\ell, \pi_p, \pi_n -$ the probability that at a random moment in time at least one network node does not know the composition of subscribers of the newly appeared node and other nodes, a node that has left the network is considered to be erroneously not considered a neighbor by at least one other network node, has outdated information due to a change in the composition of subscribers on some node, respectively.

Since all nodes of a special-purpose network are within the range of each other, packet transmission may fail only due to a collision.

References

1. Ibrahimov B.G., Alieva A.A. (2021). Research and Analysis Indicators of the Quality of Service Multimedia Traffic Using Fuzzy Logic. *In* 14th International Conference on Theory and Application of Fuzzy Systems and Soft Computing. ICAFS 2021.

2. Computing.Vol.1306.Springer, Cham.pp.773-780.

3. Valiyev V.M., Ibrahimov B.G., Alieva A.A. (2020) About one resource control task and optimization throughput in multiservice telecommunication networks. T-Comm, vol. 14, no.6, pp. 48-52.

4. Ibrahimov, B. G., Namazov, M. B., Humbatov, R. T., & Guliyev, M. N. (2022, August). Investigation and analysis of immunity characteristics receiving discrete messages. In Proceedings of the 8-th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications (Vol. 2, pp. 237-239).

5. Hasanov, A.H., Hashimov, E.G., Zulfugarov, B.S. Comparative analysis of the efficiency of various energy storages. Kharkov: Advanced Information Systems, -2023. Vol. 7, №. 3, -p.74-80.

6. Yusifbayli, N., Guliyev, H. Intellectual voltage management in electrical networks. Isgt Innovative smart grid technologies europa 2011, IEEE, PES, Manchester UK, 05-07 December 2011.pp.235-246.

7. Ibrahimov, B. G., & Ismaylov, Z. A. (2025, March). Qualitie of Communication Fiber-Optic Transmission Systems Using Wave Multiplexing Technology. In *2025 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications* (pp. 1- 4).

8. Ganimat I. B., Qiyas H. E. Analysis and selection performance indicators multiservice communication networks based on the concept NGN and FN //Computer and information systems and technologies. – 2021.

9. Zulfugarov B. et al.Comparative analysis of the efficiency of various energy storages //Modeling, Control and Information Technologies: Proceedings of International scientific and practical conference. – 2023. – №. 6. – С. 42-45.

10. İbrahimov, B.G., Hashimov, E.G. Research and analysis of fiber-optic communication lines based on wave multiplexing technology. *İn* Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління. -2023, Том 2: - pp.4-5.

RESEARCH ANALYSIS OF INFORMATION LEAKAGE SCENARIOS IN OPTICAL COMMUNICATION NETWORKS

Jafarova E.M.
Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

In today's optical communication network world, the "threat hunting" approach, or proactive threat hunting, has become widespread. This approach involves searching for information security (IS) incidents before traditional information protection systems are triggered. This threat hunting method differs from traditional IT systems [1, 2].

The TH approach involves continuously testing hypotheses for the implementation of a given attack vector and modeling situations [1]: in what cases can infrastructure vulnerabilities be exploited based on available data from various information security systems, endpoint analysis systems, cyber threat intelligence (Cyber Threat Intelligence) systems, and other data sources. The goal of TI is to apply cyber intelligence methods to prevent undesirable outcomes that could impact the cybersecurity of the infrastructure [3].

Ensuring network security for transmitted messages in optical communication networks is a set measure aimed at protecting transmitted data within the network [1, 4, 5].

Let's consider the key aspects of ensuring information security for network traffic in optical communication networks:

– Data confidentiality: traffic encryption conceals the content of transmitted information from unauthorized parties;

– Data integrity: protection against data modification during transmission.

- In the event of any attempts to modify traffic, security mechanisms in optical communication networks must detect and prevent such interference;

– Availability-- preventing attacks aimed at overloading the network (DDoS attacks);

- Below is a basic list of mechanisms that enable the implementation of information security properties:

– Malware protection: detection and blocking of malicious attacks such as viruses, Trojans, and spyware.

This is accomplished using antivirus software, firewalls, and intrusion detection systems (IDS/IPS) [1];

– traffic filtering - access control and traffic filtering, carried out directly on the basis of previously established rules [2];

- Authentication and authorization: ensures that only authorized users have access to resources, including access to specific segments within the system;

- Monitoring and analytics: suspicious network traffic activity displayed through monitoring is quickly identified, allowing for a prompt response to incidents;

- Updates: regular software updates and their installation to eliminate vulnerabilities that could be exploited by attackers.

Thus, traffic security is a key element of an overall cybersecurity strategy and is necessary to protect both corporate networks and users' personal data [3].

Now let's look at the objectives of the research into the information leak scenario and their analysis [2,5].

1. Model of information security threats through fiber-optic networks and principles formation. The implementation of fiber-optic technologies at information technology facilities leads to new threats to information security [2-9].

One of these dangers is associated with the convergence (combining, merging) of information transport and distributed measurements in a single fiber-optic cable or fiber, which creates a new type information security problem, when optical transport and measurement networks can be used for purposes other than their intended purpose: Any standard optical transport network is a non-standard optical measurement network with undeclared or undetermined parameters, and vice versa, a standard measurement network is a non-standard transport network for transmitting information.

References

1. Ibrahimov, B. G., Humbatov, R. T., Alieva, A. A., & Ibragimov, R. F. (2021). Approaches to analyzing the performance indicators of multiservice telecommunication networks based on SDN technology. *Information Technologies*, *27*(8), 419-424.

2. Ibrahimov, B. G., Humbatov, R. T., & Ibrahimov, R. F. (2018). Cryptographic methods and means protection transmitted information in telecommunication systems. *IFAC-PapersOnLine*, *51*(30), 821-824.

3. Ibrahimov, B. G., Ismaylova, S. R., Hasanov, A. H., & Isayev, Y. S. (2023, June). Research and analysis criterion quality of service and experience multifractal traffic using fuzzy logic. In *Recent Developments and the New Directions of Research, Foundations, and Applications: Selected Papers of the 8th World Conference on Soft Computing, February 03–05, 2022, Baku, Azerbaijan, Vol. I* (pp. 387-397). Cham: Springer Nature Switzerland.

4. İbrahimov, B., Hashimov, E., Talibov, A., & Hasanov, A. (2022). Research and analysis indicators fiber-optic communication lines using spectral technologies. *Advanced information systems*, *6*(1), 61-64.

5. Mammadov, H. A., & Ibrahimov, B. G. (2014). Efficiency of methods forecasting of the office traffic signaling systems with use technologies of neural networks. In *The 4-rd World Conference on Soft Computing (WConSC-14). Berkeley, California, USA* (141-145).

6. Ganimat I. B., Qiyas H. E. Analysis and selection performance indicators multiservice communication networks based on the concept NGN and FN //Computer and information systems and technologies. – 2021.

7. Zulfugarov B. et al. Comparative analysis of the efficiency of various energy storages //Modeling, Control and Information Technologies: Proceedings of International scientific and practical conference. – 2023. – №. 6. – С. 42-45.

8. İbrahimov, B.G. Research and analysis of fiber-optic communication lines based on wave multiplexing technology. *İn* Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління. -2023, Том 2: - pp.4-5.

9. Islamov, I. et al. (2025). Big data analytics and machine learning for predicting radiation and chemical threats in the military sphere. İn *Theory and practice of modern science: (September 26, 2025, Kraków, Republic of Poland)* (pp. 30–38).

THE ANALYSIS NETWORK ANOMALY AND INTRUSION DETECTION IN MULTISERVICE COMMUNICATION NETWORKS

Karimov V.R.
Institute of Control Systems, Baku, Azerbaijan

This paper examines the challenges researching and analyzing network anomalies and intrusion detection in multiservice communication networks.

It is well known that the complexity of the logical and physical organization of modern multiservice networks leads to objective difficulties in addressing network management and security issues. When operating multiservice networks, administrators face two main challenges:

- Diagnosing the operation of the multiservice network and the servers, workstations, and associated software connected to it;
- Protecting the information resources of the multiservice network from unauthorized subscriber and network access, as well as hacker activity, viruses, network worms, etc., i.e., ensuring their confidentiality, integrity, and availability.

When solving problems related to the diagnostics and protection of network resources, the central issue is the prompt detection of multiservice network conditions that lead to the loss full or partial functionality, destruction, distortion, or leakage information, resulting from failures, random malfunctions, or the result of an intruder gaining unauthorized network access to network resources, the penetration network worms, viruses, and other information security threats.

It should be noted that early detection of such conditions will allow for the timely elimination of their cause, as well as prevent possible catastrophic consequences.

A wide range of specialized systems are used to detect these threats. For example, when solving diagnostic problems in multiservice networks, management system tools, network protocol analyzers, load testing systems, and network monitoring systems are used.

Information resource protection issues in multiservice networks are addressed using firewalls, antivirus software, intrusion detection systems (IDS), integrity monitoring systems, and cryptographic protection tools.

Now let's look at the basic definitions and concepts of methods for analyzing network anomalies and intrusion detection in multi-service communication networks.

An attack on an information system is a deliberate action by an intruder that exploits the vulnerabilities of an information system and results in a violation of the availability, integrity, and confidentiality of the information being processed.

There are three types of attacks:

1. *Reconnaissance.* These attacks include ping sweeps, DNS zone transfers, email reconnaissance, TCP or UDP port scanning, and possibly analysis of publicly accessible servers to find CGI holes.

2. *An exploit* (to use for one's own benefit, to abuse) is a computer program, a fragment of software code.

3. *Denial of Service* (DoS). In this type of attack, an attacker attempts to disrupt a service, overload a network, overload a CPU, or fill a disk.

Let's look at attack models. The following types of attacks have become widespread:

- *Remote penetration*. Attacks that allow remote control of a computer over a network. For example, NetBus or BackOrifice;

-*Local penetration.* An attack that results in unauthorized access to the host on which it is running. For example, GetAdmin;

- *Remote denial of service.*Attacks that disrupt or overload a computer via the internet. For example, Teardrop or trin00;

- *Local denial of service.* Attacks that disrupt or overload the computer on which they are carried out.

The types of anomalies are as follows: Alpha anomaly, DoS, DDoS attack, Overload, Network and port scanning, Activity of worms, Point-to-multi-point, Disconnections, Traffic flow switching.

References

1. Ibrahimov, B. G., Isayev, Y. S., & Aydemir, M. E. (2023). Performance of Multi-Service Telecommunication Systems Using the Architectural Concept of Future Networks. *Journal of Aeronautics and Space Technologies*, *16*(1), 41- 49.

2. Hasanov M. H. et al. Research and analysis performance indicators NGN/IMS networks in the transmission multimedia traffic. *In* 2019 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems, 2019. – С. 1-4.

3. Ibrahimov B. G., Huseynov F. I. Research and analysis mathematical model for evaluating noise immunity in telecommunication system //Synchroinfo journal. – 2020. – Т. 6. – №. 1. – С. 2-6.

4. Ibrahimov, B. G., Namazov, M. B., & Quliev, M. N. (2020). Analysis performance indicators network multiservice infrastructure. In *Proc. of the 7-th Inter. conference on control and optimization with Industrial Applications* (Vol. 2, pp. 176-178).

5. Hasanov, A.H. et al. Comparative analysis of the efficiency of various energy storages//Kharkov: Advanced Information Systems, -2023. Vol. 7, №. 3, -p.74-80.

6. Islamov, I. et al. (2025). Big data analytics and machine learning for predicting radiation and chemical threats in the military sphere. İn *Theory and practice of modern science: (September 26, 2025, Kraków, Republic of Poland)* (pp. 30–38).

7. Tahirov, R. K. et al. (2024). Environmental aspects of information technology implementation. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 138–139).

8. Ganimat I. B., Qiyas H. E. Analysis and selection performance indicators multiservice communication networks based on the concept NGN and FN //Computer and information systems and technologies. – 2021.

9. Zulfugarov B. et al. Comparative analysis of the efficiency of various energy storages //Modeling, Control and Information Technologies: Proceedings of International scientific and practical conference. – 2023. – №. 6. – С. 42-45.

10. İbrahimov, B.G., Hashimov, E.G. Research and analysis of fiber-optic communication lines based on wave multiplexing technology. *İn* Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління. -2023, Том 2: - pp.4-5.

PLUTO SOFTWARE DEFİNED RADİO BASED ADAPTIVE FREQUENCY SPREAD SYSTEM IN TELEMETRY COMMUNICATION OF UNMANNED AIRCRAFT IN RADIO ELECTRONIC WARFARE CONDITIONS

Rustamov A.R.
Institute of Military Management, Baku, Azerbaijan.
Gasanov A.G.
Military Scientific Research Institute, Baku, Azerbaijan.
Azizullayev M.G.
National Aerospace Agency, Baku, Republic of Azerbaijan.
Hasanli R.A.
Sumqait State University, Sumqait, Azerbaijan.

The software-defined radio (SDR) designed to provide reliable, uninterrupted, and low-latency wireless communications in electronic warfare environments. An adaptive communication system based on the SDR device was examined. The proposed system is written in Python. spectrum analysis and adaptive frequency avoidance (AFH) mechanism aims to maintain signal quality and ensure communication continuity in electromagnetic interference conditions.

The system measures the signal-to-noise ratio (Signal-to-Noise) in real time. Ratio - SNR and automatically switches to an alternative “clean” frequency within 180-210 ms when it falls below a specified threshold. Data integrity packetization and cyclic redundancy check (CRC) mechanisms.

Tests conducted in laboratory conditions, in the 2.4 GHz frequency range and at a distance of 15 m were carried out in a comparative manner under interference-free and radio electronic warfare conditions. The results show that under the influence of radio electronic warfare, the SNR (from 25 dB to 18 dB), effective SNR (from 22 dB to 15 dB) and bit error rate (BER) deteriorates, path loss increases (from 38-40 dB to 46-48 dB).

However, the integration of AFH and CRC mechanisms ensured the continuity of transmission.

The proposed SDR-based system demonstrated high reliability and adaptability for critical communication applications in radio electronic warfare conditions[1-5].

The conducted research and experimental tests show that the adaptive frequency deviation mechanism, developed on the basis of the “ Pluto ” software - defined radio device, demonstrates high efficiency in ensuring the continuity and reliability of telemetry communication in radio electronic warfare conditions. Real-time spectrum monitoring, continuous measurement of the signal-to-noise ratio and operational execution of frequency switching decisions at low values minimized the impact of frequencies exposed to interference.

As a result of laboratory tests conducted in various signal suppression conditions, despite the decrease in signal quality indicators, the bit error rate was maintained at a manageable level thanks to optimized packetization and circular redundancy check mechanisms.

For both 1 GB and 10 GB data transmissions, the communication continuity was maintained with a frequency hopping of approximately 180–210 milliseconds, achieving low latency and high reliability even under high traffic loads.

The proposed approach can be further improved in the future by integrating more powerful channel coding techniques, multi-antenna systems, and advanced frequency management strategies [6-10].

References

1. Gasanov, A.G. (2025). Problems of optimal planning of air defense means against low-altitude air targets. Збірник наукових праць з матеріалами IX Міжнародної Наукової конференції, pp. 409-418.

2. Rustamov A.R., Gasanov A.G., Azizullayev, M.G. (2024). Effective application of telemetry systems of unmanned aerial vehicles. Modern directions development information and communication technology and means management Thesis reports fourteenth international scientific and technical Conference April 25-26, Volume 2: sections 3, 4, 5, 6, pp. 66-70.

3. Rustamov, A.R., Gasanov, A.G., Azizullayev, M.G. (2024). The role of navigational and hydrographical support in ensuring security of the Caspian Sea. 2nd International Conference on Logistics, Transport and Distribution in the Caspian Region, May 15-17, Baku, Azerbaijan.

4. Rustamov, A.R., Gasanov, A.G., Azizullayev, M.G. (2024). Analysis of modules and systems used in effective control of UAVs in radio electronic combat environment. Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління. Тези доповідей чотирнадцятої міжнародної науково-технічної конференції 25 - 26 квітня, pp. 47-48, https://doi.org/10.32620/ICT.24.t1

5. Gasanov, A.G., Karimov, Y. Sh. (2024). Methodology for effective planning of means of destruction located in the cover and in the stern for various types of targets, Voenen Zhurnal, Publishing House Rakovski National Defence College Sofia, Bulgaria, Vol. 131, No. 2, pp. 207-213.

6. Gasanov, A.G., Karimov, Y. Sh. (2023). Optimal management of the application of a group of unmanned aerial vehicles (UAVs) of the same type to different targets, The Journal of Defense Resources Management (JoDRM), vol 14, Issue 2 (27), pp. 125-130.

7. Gasanov, A.G. (2018). Solving problems of mathematical modeling of military systems. Textbook. -Baku: Military Publishing House, 120p.

8. Alieva, R. A., Pashaev, F. G., Gasanov, A. G., & Mahmudov, K. T. (2009). Quantum-chemical calculations of the tautomeric forms of azo derivatives of acetylacetone and determination of the stability constants of their complexes with rare-earth metals. *Russian Journal of Coordination Chemistry*, *35*(4), 241-246.

9. Gadzhieva S. R. et al. Thermodynamic characteristics of metal complexation with 3-[4-iodophenylazo]-2, 4-pentanedione in an aqueous ethanol solution //Russian Journal of Inorganic Chemistry. – 2007. – Т. 52. – №. 4. – С. 640-644.

10. Aliyev A. A. et al. Earthquake and activation of mud volcano (causal link and interaction) //Proc. Geol. Inst. – 2001. – Т. 29. – С. 26-39.

11. Ahmadov A. I. et al. Calculation of the Energy of the Interelectron Interaction in Molecules in a Basis of Slater Functions //Russian Physics Journal. – 2019. – Т. 61. – №. 10. – С. 1848-1854.

GENERAL ARCHITECTURE OF SDN NETWORK AND ITS MAIN COMPONENTS

Ibrahimov B.G., Nabiyeva A.N., Hamidova A.A.
Azerbaijan Technical University; Baku, Azerbaijan
National Defense University; Baku, Azerbaijan

Research shows that existing multiservice NGNs are complex, difficult to manage, and vertically integrated. However, the concept of Software Defined Networks (SDN) aims to break this vertical integration by separating network management logic from its underlying hardware-routers and switches-facilitating logical centralization of network management and enabling network programmability [1, 2].

The definition of Software Defined Networks by the Open Network foundation (ONF) is the most acceptable [1]. In the SDN architecture, the control and data planes are decoupled, network intelligence and state are logically centralized and the underlying network infrastructure is abstracted from the application.

Nunes, B.A. a. et al., 2014, discussed early programmable networks that laid the foundations for the SDN of today [2].

Thus, the aim of this work is to study the centralization SDN network management and analyze its architecture.

SDN separates the control and data plane and it promotes logical centralization of network control and introduces the ability to program the network. SDN also makes it easier to create and introduce new abstractions in networking, simplifying network management and facilitating network

evolution [2, 3].

In addition, SDN breaks vertical integration by separating the two planes; The control plane – which decides how to handle network traffic, and the data plane – which forwards traffic according to the decisions made by the control plane [2, 3]

The main idea behind a PDN is to separate traffic transmission functions from control functions—including monitoring both the traffic itself and the devices transmitting it. This is achieved through the creation of specialized software that can run on a separate server computer and is controlled by the network administrator.

As shown in Fig. 1 below, the bottom tier involves the physical network equipment including Ethernet switches and routers and this forms the data plane [2]. The central tier consists of the controllers that facilitate setting up and tearing down flows and paths in the network.

The central tier (control layer) links with the bottom tier (infrastructure layer) via an application programming interface (API) referred to as the southbound API. OpenFlow, sFlow and NetFlow are such protocols which are used for traffic analysis and monitoring in a network.

There is no generally accepted standard protocol for the northbound API. The most common and accepted standard for southbound communication is OpenFlow.

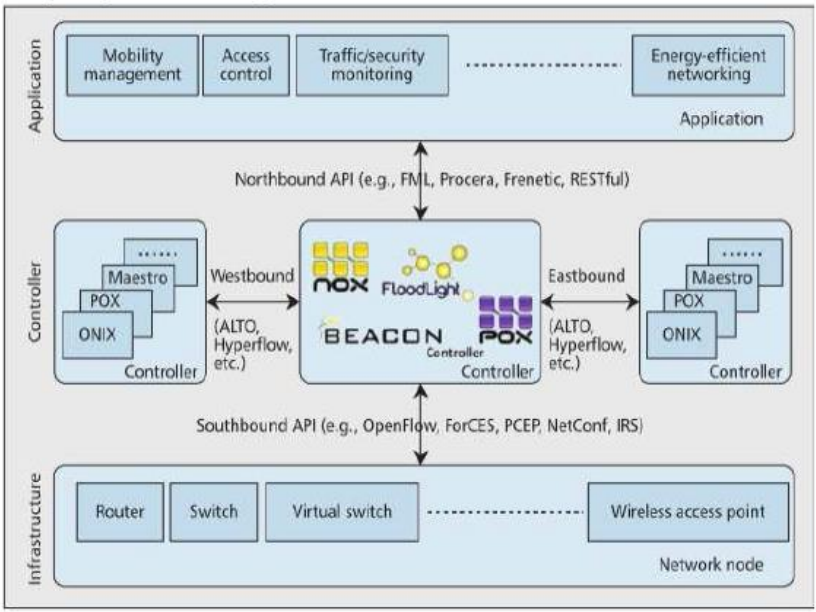

Fig. 1. General architecture of SDN network and its main components

References

1.Hasanov, A.H. et al.Comparative analysis of the efficiency of various energy storages. Kharkov: Advanced Information Systems, -2023. Vol. 7, №. 3, -p.74-80.

2. Nadau T., Gray K. SDN:software defined networks.O'Reilly Media, Inc.2013. 384 p.

3.Yusifbayli, N., Guliyev, H. Intellectual voltage management in electrical networks. Isgt Innovative smart grid technologies europa 2011, IEEE, PES, Manchester UK, 05-07 December 2011.pp.235-246.

4.Ganimat I. B., Qiyas H. E. Analysis and selection performance indicators multiservice communication networks based on the concept NGN and FN //Computer and information systems and technologies. – 2021.

5. Zulfugarov B. et al. Comparative analysis of the efficiency of various energy storages //Modeling, Control and Information Technologies: Proceedings of International scientific and practical conference. – 2023. – №. 6. – С. 42-45.

6. İbrahimov, B.G., Hashimov, E.G. Research and analysis of fiber-optic communication lines based on wave multiplexing technology. *İn* Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління. -2023, Том 2: - pp.4-5.

7. Islamov, I. et al. (2025). Big data analytics and machine learning for predicting radiation and chemical threats in the military sphere. İn *Theory and practice of modern science: (September 26, 2025, Kraków, Republic of Poland)* (pp. 30–38).

8. Tahirov, R. K. et al. (2024). Environmental aspects of information technology implementation. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 138–139).

ANALYSIS CLASSICAL AND FRACTAL SERVICE SYSTEMS IN TELECOMMUNICATION NETWORK

Aliyeva A.A.
Institute of Control Systems, Baku, Azerbaijan
Mingachevir State University, Mingachevir, Azerbaijan

In the telecommunications network, switching node buffers are a critical resource for managing subscribers and network traffic. Research shows that in packet switching, network traffic is inherently self-similar or fractal. Fractal properties characterizing traffic typically include concepts such as slowly decaying dispersion and long-term dependency [1, 2].

Self-similarity traffic has a significant impact on the quality of communication and on queues in queuing systems. An adequate description of self-similar traffic in a telecommunications network is determined by probability distributions with heavy "tails." Currently, there are no general analytical results on queuing for self-similar traffic and the impact of self-similarity on service quality [3, 4].

When modeling self-similar traffic, it is necessary to reflect the presence of long-term dependencies in traffic paths and its pulsating (self-similar) structure on multiple time scales. Both of these effects can be modeled by a burst process. A burst implies a prolonged flow of data blocks, such as packets.

In practice, when modeling sources, the distribution OFF periods is often assumed to be exponential, while for ON periods the Pareto distribution is most often used. The probability density of the Pareto distribution is determined by the distribution function in the form [1, 2, 5]:

$$w(x) = P(x) = (\alpha \cdot \beta^{\alpha}) / x^{\alpha+1},\ x \geq \beta\ ,\beta > 0\ ,\ \alpha > 0\ , \qquad (1)$$

where β is the boundary parameter that specifies the minimum value of the random variable x and is, in fact, a scale factor;

α is the shape parameter $1 < \alpha < 2$ and is expressed through the Hurst coefficient as follows: $\alpha = 3 - 2H$.

In addition to the mathematical expectation and variance, a useful characteristic of a random variable x in queue modeling is the square of its coefficient variation $C^2(x)$, where $x \in Pa(\alpha, \beta, H)$:

$$C^2(x) = (1-2H)/(3\text{-}2H) = 1/\alpha \cdot (\alpha - 2)\,. \qquad (2)$$

Variation coefficients (or more precisely, their squares) are a measure of the dispersion of values for request arrival intervals and service intervals.

The larger these coefficients, the larger the average queue length $L(\rho)$ should be expected for a fixed load ρ.

For the Pareto distribution, in the range of parameter values $1 < \alpha \leq 2$, both squares of the variation coefficients (intervals between arrivals and arrival durations)

essentially tend to infinity, from which it follows that the values of the average queue length $L(\rho)$ should be expected to be significantly (many times) greater than for M|M|1.

In the general case, a telecommunication network node is considered as a QS of class G|G|1|m in a stationary operating mode. The main problem of designing buffers assystems of class G|G|1|m is posed as finding the dependence of the probability of losing a request P_n on the buffer size m:

$$P_n = f(m, H), \quad m = 1, 2, 3, \ldots .$$

This will allow for any pre-set acceptable loss probability P* to determine the corresponding smallest acceptable buffer size m*

Thus, mathematical concepts such as self-similar random processes, long-term dependence, and heavy-tailed distributions have come into widespread use in the description and analysis of fractal traffic.

References

1. Ibrahimov, B. G., Humbatov, R. T., Alieva, A. A., & Ibragimov, R. F. (2021). Approaches to analyzing the performance indicators of multiservice telecommunication networks based on SDN technology. *Information Technologies*, *27*(8), 419-424.

2. Hasanov M. H. et al. Research and analysis performance indicators NGN/IMS networks in the transmission multimedia traffic. *In* 2019 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems, 2019. – С. 1-4.

3. Ibrahimov B. G., Huseynov F. I. Research and analysis mathematical model for evaluating noise immunity in telecommunication system //Synchroinfo journal. – 2020. – Т. 6. – №. 1. – С. 2-6.

4. Hasanov, A.H. et al. Comparative analysis of the efficiency of various energy storages. Kharkov: Advanced Information Systems, -2023. Vol. 7, №. 3, -p.74-80.

5. .Ибрагимов, Б. Г. (2018). Анализ мультисервисных телекоммуника- ционных сетей связи будущего поколения на базе архитектурной концепции SDN&NFV и IMS. *Ученые-записки*, (3), 34.

6. Yusifbayli, N., Guliyev, H. Intellectual voltage management in electrical networks. Isgt Innovative smart grid technologies europa 2011, IEEE, PES, Manchester UK, 05-07 December 2011.pp.235-246.

7. Mammadov, H. A., & Ibrahimov, B. G. (2014). Efficiency of methods forecasting of the office traffic signaling systems with use technologies of neural networks. In *The 4-rd World Conference on Soft Computing. Berkeley, California, USA* (pp. 141-145).

8. Ganimat I. B., Qiyas H. E. Analysis and selection performance indicators multiservice communication networks based on the concept NGN and FN //Computer and information systems and technologies. – 2021.

9. Zulfugarov B. et al.Comparative analysis of the efficiency of various energy storages //Modeling, Control and Information Technologies: Proceedings of International scientific and practical conference. – 2023. – №. 6. – С. 42-45.

10. İbrahimov, B.G., Hashimov, E.G. Research and analysis of fiber-optic communication lines based on wave multiplexing technology. *İn* Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління. -2023, Том 2: - pp.4-5.

CONTROLLER-LEVEL SCALABILITY PROBLEMS IN SOFTWARE-DEFINED NETWORKS

İslamov İ., Akhundov R.G.
National Defense University, Baku Azerbaijan
Hashimov E.G.
Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

Although the concept of Software Defined Networking ensures programmable control over the network by separating the control and data planes, it introduces probabilistic and time-dependent constraints under real network loads. The aim of this study is to systematically assess the key limitations affecting the scalability of SDN controllers with respect to probabilistic delays, response time, throughput, and the volume of managed nodes, and to elucidate, on methodological grounds, the performance impacts of standards-based architectural choices. As a reference framework, ITU-T Y.3300, IRTF RFC 7426, and ONF TR-502 documents are adopted; the principles of the three-plane model and the functional roles of the northbound, southbound, and east-west interfaces are analyzed in sequence.

The methodology covers three components.

First, based on probabilistic time models, the variation of controller response time as the number of nodes increases, the distribution of delays, and the probability of false signaling under peak loads are evaluated.

Second, it is shown that interaction among data, control, and application planes, alongside programmability benefits, also introduces additional sources of latency.

Third, the operational impact of interfaces is examined, with particular attention to the role of the east-west interface in mitigating the constraints of centralized architecture by ensuring inter-controller synchronization and ordering.

Emulation and analytical comparisons show that as the number of switches and hosts managed by each SDN controller increases, response time grows nonlinearly, which leads to reduced throughput and an elevated risk of congestion in control channels. According to representative findings, network operating systems written in lightweight programming languages exhibit more favorable behavior in terms of latency and resource usage, whereas platforms characterized by heavy runtime and memory footprint tend to have longer response times. While the three-plane architecture yields programmability and agility, the increasing number of application-to-control interactions introduces additional time cost due to the ordering of logical calls, which becomes especially evident under highly variable traffic patterns. Northbound interfaces simplify orchestration and policy enforcement; southbound interfaces bridge to the data plane via OpenFlow and similar protocols, yet sensitivity to scaling rises under intense loads because of the density of request-response cycles.

The east-west interface can reduce the accumulation of delays by ensuring consistency and ordering in distributed controller architectures, although inter-controller communication latency and the overhead of consensus mechanisms must also be taken into account.

The discussion indicates that the performance bounds of SDN controllers depend on both design-level choices and technical decisions in software implementation. To improve performance, the following are proposed: functional partitioning of controllers, optimization of controller cluster topology, prioritization of calls, and batching of control signals through event-driven processing models. In addition, the adoption of lightweight NOS frameworks, asynchronous non-blocking I/O, and probabilistic filtering methods such as adaptive thresholding and anomaly detection reduce false signaling probability and peak delays. Among the constraints, the reliability of sensor and control channels, coordination of numerous API calls at the application layer, and the stability of inter-controller consensus occupy a prominent place.

In conclusion, while SDN enables programmable control, probabilistic time characteristics can limit scalability. Distributed controller architectures, standards-compliant interface design, and lightweight NOS implementations are evaluated as promising directions for mitigating these limitations.

References

1. İbrahimov, B.G. et al. (2022). Research and analysis indicators fiber-optic communication lines using spectral technologies. *Advanced information systems*, *6*(1), 61-64.

2. Ibrahimov, B.G. et al. (2024). Research and analysis mathematical model of the demodulator for assessing the indicators noise immunity telecommunication systems. *Advanced Information Systems*, *8*(4), 20-25.

3. Islamov I. et al. Big data analytics and machine learning for predicting radiation and chemical threats in the military sphere. Scientia [Internet]. 2025 Available from: https://previous.scientia.report/index.php/archive/article/view/3025

4. Ganimat I.B. Analysis and selection performance indicators multiservice communication networks based on the concept NGN and FN //Computer and information systems and technologies. – 2021.

5. Zulfugarov B. et al. Comparative analysis of the efficiency of various energy storages //Modeling, Control and Information Technologies: Proceedings of International scientific and practical conference. – 2023. – №. 6. – С. 42-45.

6. Zulfugarov B. S. et al. Fostering a culture of sustainable use of clean and green energy sources. – 2025.

7. Ibrahimov B. et al. Research and analysis mathematical model of the demodulator for assessing the indicators noise immunity telecommunication systems //Advanced Information Systems. – 2024. – Т. 8. – №. 4. – С. 20-25.

8. Hashimov, E.G. (2017). Application of GIS and seismic location method for detection of invisible military objects /- Baku: Military Publishing House, 2017, 246 p.

9. Bayramov A.A. The numerical estimation method of a task success of UAV reconnaissance flight in mountainous battle condition //Сучасні інформаційні системи. – 2017. – №. 1,№ 2. – С. 70-73.

10. Piriyev, H.K. et al. (2016). Modelling of the battle operations. *Monografiya, Herbi Nashriat", Baku.–2017*.

11. Talibov, A.M. et al. (2023, May). Optimal placement of logistics centers in the Republic of Azerbaijan. In *2nd International Conference on Problems of Logistics, Management and Operation in The East-West Transport Corridor*. (pp. 24-26).

ENHANCEMENT OF OPERATIONAL READINESS VIA PREDICTIVE MAINTENANCE AND NETWORK OPTIMIZATION

Barbashin V.K., Hashimov E.G.
Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan
Talibov A.M.
İnstitute of Control Systems, Baku, Azerbaijan
Akhundov R.G.
National Defense University, Baku, Azerbaijan

This article presents a methodological framework aimed at building an agile and resilient logistics system for the material and technical support of the Armed Forces of Azerbaijan through digitization, modeling, and optimization. The problem's relevance is determined by the multifaceted maneuver dynamics of modern warfare, the high intensity of supply, and the impact of information latency in the operational environment on combat readiness. The approach synthesizes three scientific directions. First, Digital Supply Chain principles with near real time tracking, ERP and WMS integration, RFID based warehouse management, and big data analytics (figure). Second, a Predictive Maintenance model that detects failures in advance using vibration, temperature, and load regimes. Third, Resource Optimization delivers multi criteria efficiency for inventory levels and transport networks. The methodology is grounded in systems engineering, operations research, and the digital twin concept. For inventory management the classical (Q, R) policy is applied. The reorder point R is computed according to the service level using a z factor and the mean and dispersion of demand during the lead time L. The average inventory $\bar{I}$ is estimated as Q divided by 2 plus the safety stock, which reduces excess inventory and warehouse capacity while keeping the service level stable. Transportation and distribution processes are modeled as a multi-source, multi objective flow. The objective function is cost minimization, with constraints defined by source capacity and demand satisfaction. The Pareto frontier balances cost, time, and risk. In the predictive maintenance module, the time to failure $\hat{T}$_failure is estimated using regression or deep learning based on vibration, temperature, and duty cycles. Within the digital twin structure, a Plan Do Check Act cycle is established, and KPI indicators are updated automatically.

The discussion of results shows that online monitoring of supply operations via the digital twin significantly shortens the decision cycle, and multi criteria optimization of routes yields a rational compromise between transport cost and risk level. In emulation scenarios the MTBF indicator increases by 15 to 20 percent and the MTTR indicator decreases by 10 to 12 percent. If overall availability A is calculated as MTBF divided by MTBF plus MTTR, it reaches approximately 0.91, which indicates improved operational readiness of the fleet. For risk management a register is created for CBRN effects, cyber risks, and supply delays, and control measures are planned that include alternative routes, decontamination posts, zero trust architecture, journaling, and buffer warehouses. The economic analysis shows that the model reduces logistics costs by 8 to 10 percent, increases service level by 12 to 15 percent, and yields a positive net present value NPV.

The application results are reinforced through normative alignment and standardization in the Azerbaijani context. The adoption of STANAG formats and interface protocols facilitates the integration of heterogeneous systems. The KPI set includes service level, on time order fulfillment, warehouse agility, transport time reliability, OODA loop duration, and resilience indicators for CBRN and cyber risks. Sensitivity scenarios consider demand variation, supply delays, fuel price, personnel, and infrastructure constraints, with thresholds adjusted dynamically. In conclusion, a digitized, modeled, and optimized multi-level logistics architecture plays a decisive role in maintaining operational superiority, comparable to weapon systems. The proposed framework integrates modules for inventory management, network optimization, and predictive maintenance within a unified digital twin, which increases decision transparency and speed, ensures rational allocation of resources, and reduces operational risks. Future research should focus on expanding real time telemetry, AI based fault diagnostics, on the fly route updating via edge computing, and the development of simulation ranges for testing digital twin.

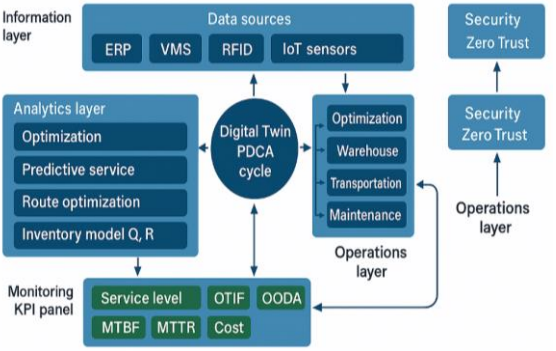

Fig. 1. Digital Twin based military logistics architecture

References

1. Tahirov, R. K. et al. (2024). Environmental aspects of information technology implementation. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 138–139).

2. Talibov A. et al. Optimal placement of logistics centers in the Republic of Azerbaijan //2nd International Conference on Problems of Logistics, Management and Operation in The East-West Transport Corridor (PLMO 2023).–Baku. – 2023. – C. 24-26.

3. İskhandarov, X. et al. (2025). Artificial intelligence in logistics operations. In *Topical issues of science development: Proceedings of the VI International Scientific Conference* (pp. 433–442). https://doi.org/10.62731/mcnd-31.10.2025

4. Mammadov, E. S. et al. (2025). Environmental impact of transportation systems: Challenges and sustainable solutions. In *Scientific review of the actual events, achievements and problems: Proceedings of the V International Scientific and Theoretical Conference* (pp. 120–128). Berlin, Germany: International Center of Scientific Research. https://doi.org/10.36074/scientia-03.10.2025

5. Huseyn-Zada, K. et al. (2025). Spatial patterns of automobile emissions in urban areas: A GIS-based study of Baku. In *Development of scientific thought in the post-industrial society: Modern discourse: Proceedings of the VIII Int. Scientific Conference* (pp. 170–179). Khmelnytskyi, Ukraine: Ukrlogos Group. https://doi.org/10.62731/mcnd-17.10.2025

6. Salmanov, E. I. et al. (2025). Ways to improve logistical support in the Azerbaijani Army. In *The driving force of science and trends in its development: Collection of scientific*

papers «SCIENTIA» with proceedings of the IX International Scientific and Theoretical Conference (pp. 88–95). London, England: International Center of Scientific Research. https://doi.org/10.36074/scientia-17.10.2025

7. Babayev, S. et al. (2025). Enhancing operational effectiveness through command and control integration of autonomous robot swarms. *Scientific review of the actual events, achievements and problems: Collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the V International Scientific and Theoretical Conference (October 3, 2025, Berlin, Germany)* (pp. 75–82). https://doi.org/10.36074/scientia-03.10.2025

8. Islamov, I. et al. (2025). Hybrid communication models for UAV swarms: Towards scalable and energy-aware network optimization. *Scientific guidelines: Theory and practice of research – Proceedings of the VI International Scientific Conference* (Kyiv, Ukraine, October 3, 2025), pp. 185–195. https://doi.org/10.62731/mcnd-03.10.2025

9. Tabunenko, V. et al. (2025). The dynamics of UAV flight integrated with route planning. In *Modern tools and methods of scientific investigations: Proceedings of the VI International Scientific and Theoretical Conference* (pp. 46–56). Antwerp, Belgium: Scientia. https://doi.org/10.36074/scientia-10.10.2025

10. Jabrayilov, A. R. et al. (2025). Experience of international cooperation in the field of military environmental safety. *Current directions of development of information and communication technologies and control tools* (Vol. 1, pp. 116–117).

11. Jabrayilov, A. R. et al. (2025). Prospects for creating closed ecological life support systems. *Current directions of development of information and communication technologies and control tools* (Vol. 4, pp. 92–93).

12. Muradova, E. E. et al. (2025). Analytical evaluation of UAV-based logistical operations in contemporary military systems. In *Topical issues of science development: Proceedings of the VI International Scientific Conference* (pp. 351–360). https://doi.org/10.62731/mcnd-31.10.2025

13. Piriyev, H.K. et al. (2016). Modelling of the battle operations. Monografiya, Herbi Nashriat", Baku, 2017.

14. Talibov, A.M. et al. (2023, May). Optimal placement of logistics centers in the Republic of Azerbaijan. In *2nd International Conference on Problems of Logistics, Management and Operation in The East-West Transport Corridor*. (pp. 24-26).

15. Akhundov, R., & Hashimov, E. (2025). The impact of new technologies on enhancing the efficiency of armed. *Матеріали конференцій МЦНД*, (13.06. 2025; Луцьк, Україна), 186-195.

16. Talibov, A.M. (2024). Vehicle transport cost calculation method. *In* Current directions of development of information and communication technologies and control tools. (Vol. 2, pp. 3-6).

17. Talibov A. M., Hashimov E. G. Vehicle transport cost calculation method. *İn* Current directions of development of information and communication technologies and control tools. 2024. -p.107.

18. Zulfugarov B. S., Manafov A., Hashimov E. G. Multi-criteria evaluation of energy accumulation technologies for defense energy security. – 2025.

19. Talibov A. M., Hashimov E. G., Hazarkhanov U. A. Estimation of transport costs in the process of military logistics. *İn* Problems of informatization. Proceedings of 12-th International Scientific and Technical Conference. 2024. Vol. 3. -p.140-141.

20. Zulfugarov B. Comparative analysis of the efficiency of various energy storages //Modeling, Control and Information Technologies: Proceedings of International scientific and practical conference. – 2023. – №. 6. – С. 42-45.

AI BASED PHYSICAL AND CYBER DEFENSE FOR ENERGY GRIDS AND TRANSPORTATION SYSTEMS

Dergachov K.,
National Aerospace University "KhAI", Kharkiv, Ukraine
Hashimov E.G.
Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan
Akhundov R.G.
National Defense University, Baku Azerbaijan

Critical infrastructure systems, especially the energy and transport sectors, are the main pillars of national security, economic resilience and public welfare [1-24]. The cyber physical nature of this infrastructure makes it vulnerable to both targeted attacks and accidental faults. The article presents an integrated deep learning-based framework for the protection of critical infrastructure. The framework jointly processes multimodal data streams. SCADA and industrial control system traffic, sensor telemetry, video surveillance streams as well as in vehicle CAN messages and V2X communication packets are directed into a unified risk assessment pipeline (Fig. 1).

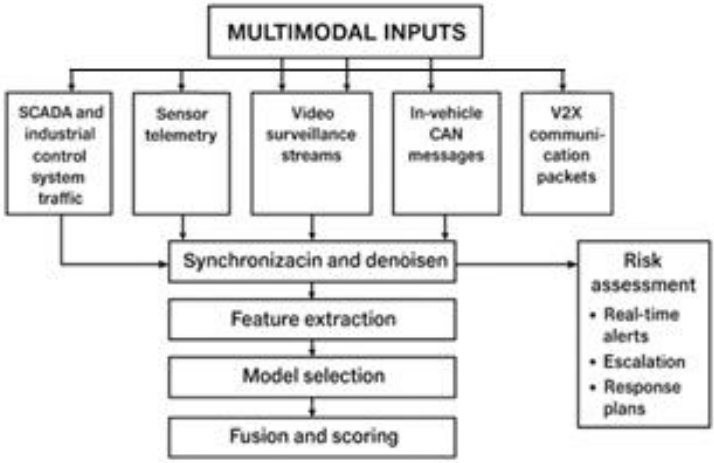

Fig. 1. Deep learning based multimodal risk assessment framework for critical infrastructure

Convolutional neural networks (CNNs) are applied for visual security tasks and a CNN with LSTM hybrid is used to capture temporal dynamics. This approach enables reliable automation of perimeter intrusions, boundary breaches, detection of prohibited items in airport scanner images and detection of UAVs over energy facilities. For sequence-based anomalies LSTM and GRU models are used. They recognize abnormal operating modes in SCADA signals and sequence violations in CAN networks as deviations from learned normal patterns. For modeling long term

dependencies, a Transformer architecture based on the attention mechanism is selected. This architecture distinguishes hidden attack traces more effectively in V2X traffic and in long sequence telemetry of power grids (Figure 2). For unsupervised anomaly detection autoencoders are trained on normal operation data and generate early warning signals through a reconstruction error threshold.

Methodologically the pipeline consists of four stages. In the first stage multimodal data from different sources are synchronized and denoised. In the second stage domain specific features are extracted. For visual streams multi scale convolutions are produced, while for signal and network traffic windowed statistics, spectral representations and sequence embeddings are generated. In the third stage model families are selected according to the task. In the fourth stage the results are fused with a rule-based validation module and a Bayesian type risk scorer. The scores are sent to the operations center as real time alerts, disciplined escalation and response plans.

In the experimental block four classes of indicators are measured. Overall accuracy and F1 balance preserve the priority of not missing attacks while reducing false positives. AUC is used to evaluate inter class separability of the model. Latency and throughput are monitored to ensure compliance with real time requirements. The results show that in visual scenarios CNN and CNN LSTM reach an accuracy range of 0.87 to 0.93, LSTM GRU on SCADA and CAN traffic reach 0.95 to 0.99 accuracy and the Transformer on V2X achieves an AUC level of 0.95. Autoencoders detect equipment malfunctions and slow developing anomalies at an early stage which significantly reduces unplanned downtime.

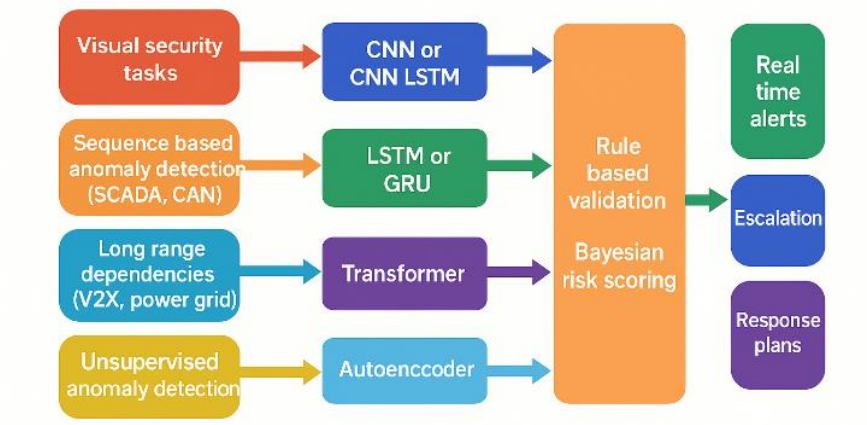

Fig. 2. Task oriented deep learning model selection and fusion workflow

The applied results confirm system level benefits in two sectors. In energy, physical security is strengthened through UAV and perimeter monitoring. For SCADA, sequence models detect manipulation attempts promptly and reduce accident risk. In transport, the CNN family recognizes behavioral anomalies in

public transport and prohibited objects in X ray images. In in vehicle CAN networks LSTM GRU hybrids detect spoofed injections with high sensitivity. On V2X traffic the Transformer reveals hidden threats in long term patterns.

The discussion highlights four limitations. The scarcity of real-world attack data complicates the generalization of models. To meet explainability needs explainable AI is integrated through SHAP, LIME and attention maps. For adversarial robustness adversarial training and input defenses are applied. Resource constraints on edge devices are mitigated through lightweight architecture, pruning, quantization and federated learning. From the governance perspective standardization is required around model versioning, data provenance tracking and minimum performance thresholds.

As a result, the proposed deep learning framework links physical and cyber security to a single situational awareness. Real time detection and response are accelerated, unplanned downtime is reduced, risk management becomes systematic and transparent. Large scale deployment in energy and transport infrastructure creates a practical roadmap that supports national security, social stability and sustainable development goals.

References

1. Babayev, S. M. et al. G. (2024). The impact of new technologies on the progress of military art. In *Proceedings of International Scientific and Practical Conference* (Vol. 6, pp. 54-56).

2. Huseyn-Zada, K. et al. (2025). Spatial patterns of automobile emissions in urban areas: A GIS-based study of Baku. In *Development of scientific thought in the post-industrial society: Modern discourse: Proceedings of the VIII International Scientific Conference* (pp. 170–179). https://doi.org/10.62731/mcnd-17.10.2025

3. Salmanov, E. I. et al. (2025). Ways to improve logistical support in the Azerbaijani Army. In *The driving force of science and trends in its development.* (pp. 88–95). https://doi.org/10.36074/scientia-17.10.2025

4. Talibov, A. et al. (2024). Environmental safety of nanomaterials application. In Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference (Vol. 3, pp. 55–56). Baku–Kharkiv–Bielsko-Biala.

5. Akhundov, R., & Hashimov, E. (2025). The impact of new technologies on enhancing the efficiency of armed. *Матеріали конференцій МЦНД*, (13.06. 2025; Луцьк, Україна), 186-195.

6. Jabrayilov, A. R. et al. (2025). Experience of international cooperation in the field of military environmental safety. *Current directions of development of information and communication technologies and control tools* (Vol. 1, pp. 116–117).

7. Jabrayilov, A. R. et al. (2025). Prospects for creating closed ecological life support systems. *Current directions of development of information and communication technologies and control tools* (Vol. 4, pp. 92–93).

8. Talibov A. et al. Optimal placement of logistics centers in the Republic of Azerbaijan //2nd International Conference on Problems of Logistics, Management and Operation in The East-West Transport Corridor (PLMO 2023)..Baku. – 2023. – С. 24-26.

9. İskhandarov, X. et al. (2025). Artificial intelligence in logistics operations. In *Topical issues of science development: Proceedings of the VI International Scientific Conference* (pp. 433–442). https://doi.org/10.62731/mcnd-31.10.2025

10. Mammadov, E. S. et al. (2025). Environmental impact of transportation systems: Challenges and sustainable solutions. In *Scientific review of the actual events, achievements and problems: Proceedings of the V International Scientific and Theoretical Conference* (pp. 120–128). Berlin, Germany. https://doi.org/10.36074/scientia-03.10.2025

11. Tahirov, R. K. et al. (2024). Environmental aspects of information technology implementation. In *Problems of Informatization: Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference* (Vol. 3, pp. 138–139).

12. Babayev, S. et al. (2025). Enhancing operational effectiveness through command and control integration of autonomous robot swarms. *Scientific review of the actual events, achievements and problems.* (pp. 75–82). https://doi.org/10.36074/scientia-03.10.2025

13. Islamov, I. et al. (2025). Hybrid communication models for UAV swarms: Towards scalable and energy-aware network optimization. *Scientific guidelines: Theory and practice of research – Proceedings of the VI International Scientific Conference* (Kyiv, Ukraine, October 3, 2025), pp. 185–195. https://doi.org/10.62731/mcnd-03.10.2025

14. Tabunenko, V. et al. (2025). The dynamics of UAV flight integrated with route planning. In *Modern tools and methods of scientific investigations: Proceedings of the VI International Scientific and Theoretical Conference* (pp. 46–56). https://doi.org/10.36074/scientia-10.10.2025

15. Babayev, S. et al. (2025). The impact of unmanned aerial vehicles on the strategy and tactics of modern warfare. In *Modern tools and methods of scientific investigations: Proceedings of the VI International Scientific and Theoretical Conference* (pp. 28–36). https://doi.org/10.36074/scientia-10.10.2025

16. Akhundov, R., & Hashimov, E. (2025). Enhancing the efficiency of the military environmental security system through the implementation of advanced technical means. *In Modeling, Control and Information Technologies,* (No. 8, pp. 348–352) https://doi.org/10.31713/MCIT.2025.108

17. Talibov, A.M. et al. (2023, May). Optimal placement of logistics centers in the Republic of Azerbaijan. In *2nd International Conference on Problems of Logistics, Management and Operation in The East-West Transport Corridor*. (pp. 24-26).

18. Akhundov, R., & Hashimov, E. (2025). The impact of new technologies on enhancing the efficiency of armed. *Мат. Конф. МЦНД*, (13.06. 2025; Луцьк), 186-195.

19. Talibov, A.M. (2024). Vehicle transport cost calculation method. *In* Current directions of development of information and communication technologies and control tools. (Vol. 2, pp. 3-6).

20. Talibov A. M., Hashimov E. G. Vehicle transport cost calculation method. *İn* Current directions of development of information and communication technologies and control tools. 2024. -p.107.

21. Talibov A. M. et al.. Estimation of transport costs in the process of military logistics. *İn* Problems of informatization. Proceedings of 12-th International Scientific and Technical Conference. 2024. Vol. 3. -p.140-141.

22. Hasanov, A.H. (2022). Analysis of the effectivness of communication and automated management systems. In *Modern directions of development of information and communication technologies and management tools,* (Vol. 1, pp. 1-4).

23. Akhundov, E.F. et al. (2023). Increasing Efficiency of Operation of Shut-Off Valves in Pipelines. *International Organization*.

24. İsmayil, İsmayil. (2025). Security and protection of Azerbaijan's oil and gas pipelines: cybersecurity and risk management approaches. *Матеріали конференцій МЦНД*, 136–144. https://doi.org/10.62731/mcnd-11.07.2025.004

МЕТОДИ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ (QOS) У СУЧАСНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ ПІД ЧАС ВОЄННОГО СТАНУ В УКРАЇНІ

Ні Я.С., Ні О.В., Шостак М.В., Шостак В.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Сучасні телекомунікаційні мережі є основою цифрової інфраструктури держави, забезпечуючи передачу даних, голосу, відео та критично важливої інформації між користувачами. В умовах воєнного стану в Україні питання стабільності та якості надання телекомунікаційних послуг набуває особливого значення.

Висока якість обслуговування (Quality of Service, QoS) стає ключовим чинником безперервної роботи комунікаційних систем, які підтримують діяльність органів влади, оборонних структур, екстрених служб, бізнесу та громадян.

Моніторинг QoS є процесом збору, аналізу та оцінки параметрів, що характеризують роботу мережі: пропускної здатності, затримок, варіацій затримки (джитеру), втрати пакетів, часу відгуку тощо. У період воєнних дій традиційні методи контролю якості можуть бути недостатньо ефективними через динамічні зміни топології мереж, збої живлення, руйнування інфраструктури та кібератаки.

Тому особливу роль відіграють інтелектуальні системи моніторингу, здатні автоматично виявляти аномалії та адаптувати параметри обслуговування відповідно до поточної ситуації.

Сучасні підходи до моніторингу QoS передбачають використання гібридних технологій, що поєднують активні та пасивні методи вимірювання. Активний моніторинг базується на генеруванні тестових потоків даних між вузлами мережі з метою оцінки її продуктивності. Пасивний моніторинг здійснюється шляхом аналізу реального трафіку без втручання в його структуру, що дозволяє отримати об’єктивну картину роботи мережі без додаткового навантаження.

В Україні під час воєнного стану оператори зв’язку активно впроваджують розподілені системи моніторингу, побудовані на основі технологій SDN (Software Defined Networking) та NFV (Network Function Virtualization). Це дозволяє централізовано управляти якістю обслуговування та швидко реагувати на порушення у функціонуванні мережевих сегментів. Використання штучного інтелекту та машинного навчання в процесі аналізу QoS забезпечує можливість прогнозування відмов і оптимізації маршрутизації даних у реальному часі.

Особливу роль у забезпеченні стабільності QoS відіграє взаємодія між провайдерами, урядовими структурами та волонтерами ІТ-сектору. В умовах воєнних дій часто спостерігається перевантаження мережевих каналів, міграція користувачів, пошкодження оптичних ліній і переспрямування трафіку через альтернативні маршрути. У таких умовах для контролю якості

використовуються адаптивні методики, що враховують пріоритизацію критично важливих сервісів — таких як урядовий зв'язок, системи оповіщення, медичні та фінансові сервіси.

Моніторинг QoS також тісно пов'язаний із забезпеченням кіберстійкості телекомунікаційних систем.

Кібератаки, зокрема DDoS, можуть суттєво впливати на затримку пакетів, втрати даних та стабільність з'єднання.

Тому системи моніторингу мають не лише фіксувати відхилення параметрів QoS, але й автоматично виявляти джерела атак і вживати заходів з їх локалізації. Впровадження систем на основі SIEM (Security Information and Event Management) дозволяє поєднати контроль якості обслуговування з кіберзахистом.

В умовах обмеженого енергопостачання та перебоїв зв'язку особливо важливим стає моніторинг QoS на рівні користувацького досвіду (Quality of Experience, QoE).

Саме суб'єктивне сприйняття користувачем якості зв'язку є критерієм ефективності всієї системи обслуговування. Для цього застосовуються системи збору телеметрії, аналітики великих даних та візуалізації показників у реальному часі.

Метою доповіді є дослідження методів моніторингу якості обслуговування (QoS) у телекомунікаційних мережах України під час воєнного стану, аналіз їх ефективності та визначення напрямів розвитку інтелектуальних систем контролю для забезпечення стабільності зв'язку в кризових умовах.

У доповіді розглянуто сучасні технічні та організаційні підходи до забезпечення QoS, наведено приклади використання інноваційних рішень в українських операторів зв'язку, проаналізовано проблеми кіберзахисту та запропоновано перспективи впровадження адаптивних систем моніторингу на базі штучного інтелекту.

Список літератури

1. Сидоренко А.О., Коваленко Д.В. Методи оцінювання якості телекомунікаційних послуг в умовах надзвичайних ситуацій. – Київ: Зв'язок і безпека, 2023. – 198 с. DOI: 10.34725/qosukraine.2023.001

2. ITU-T Recommendation Y.1540: Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters. – International Telecommunication Union, 2022. DOI: 10.55916/itu.y1540.2022

3. Поліщук І.М. Моніторинг QoS у мережах нового покоління. – Телекомунікаційні системи, 2023. – №4. – С. 56–62. DOI: 10.37017/telecomsys.2023.017

4. Singh R., Kumar N., Rodrigues J.J.P.C. QoS-aware network monitoring in SDN-based architectures. Computer Networks. – 2023. – 233. – 110497. DOI: 10.1016/j.comnet.2023.110497

5. Міністерство цифрової трансформації України. Звіт про стан телекомунікаційної інфраструктури України у 2024 році. – Київ, 2024. DOI: 10.37017/mintsyfra.2024.009

МОНІТОРИНГ ТА ДІАГНОСТИКА ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ МЕТОДОМ РЕФЛЕКТОМЕТРІЇ

Мороз А.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна
Манжула Є.А., Сітнікова С.І.
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна

Моніторинг і діагностика волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ) є одним із ключових напрямів забезпечення надійності та ефективності сучасних телекомунікаційних мереж. Стрімкий розвиток інфраструктури оптичного зв'язку у світі та в Україні зумовлює потребу у постійному контролі технічного стану волоконних кабелів, своєчасному виявленні дефектів та мінімізації простоїв мережі. Одним із найбільш ефективних методів діагностики ВОЛЗ є рефлектометрія, яка дозволяє отримувати точні дані про якість з'єднань, наявність пошкоджень і довжину волоконних ліній.

Волоконно-оптичні лінії зв'язку мають високу пропускну здатність і забезпечують стабільну передачу великих обсягів даних на значні відстані, проте навіть незначні дефекти у кабелі, порушення цілісності з'єднань або погіршення якості оптичного сигналу можуть призвести до суттєвих перебоїв у роботі мережі. У цьому контексті рефлектометрія, зокрема оптична рефлектометрія (OTDR), виступає незамінним інструментом для оцінки стану лінії на різних етапах експлуатації, включаючи монтаж, тестування після ремонту та регулярний технічний контроль [1]. Метод OTDR базується на вимірюванні відбитого сигналу, що виникає на різних ділянках волоконної лінії через природні втрати або дефекти з'єднань. Аналіз отриманих рефлектометричних кривих дозволяє визначати місце та характер дефекту, контролювати ослаблення сигналу та оцінювати якість всіх вузлів мережі. Завдяки цьому можна оперативно планувати ремонтні роботи, зменшувати час простоїв і забезпечувати стабільність передачі даних, що особливо важливо для операторів телекомунікацій, дата-центрів та критично важливих об'єктів промисловості[2].

Сучасні OTDR-прилади дозволяють працювати на різних довжинах хвиль та з різною роздільною здатністю, що забезпечує високу точність визначення відстані до дефекту, чутливість до дрібних пошкоджень та можливість автоматичного створення звітів для подальшого аналізу. Крім того, новітні моделі обладнання інтегрують функції дистанційного моніторингу, аналітики та прогнозування, що дозволяє інженерам отримувати оперативну інформацію про стан мережі у реальному часі[3].

Регулярний моніторинг ВОЛЗ методом рефлектометрії сприяє своєчасному виявленню деградації оптичних волокон, що може виникати через механічні пошкодження, температурні коливання або природне старіння матеріалів. Аналітика даних, отриманих з OTDR, дозволяє прогнозувати час до критичних відмов, планувати оптимальні графіки технічного обслуговування та підвищувати загальну надійність мережі. Важливим

аспектом є інтеграція рефлектометричних даних у системи автоматизованого моніторингу мереж, що забезпечує централізоване управління мережею та підвищує швидкість реагування на аварійні ситуації.

Застосування рефлектометрії у навчальному процесі відкриває можливості для підготовки інженерних кадрів. Використання OTDR у лабораторних практикумах дозволяє наочно демонструвати фізичні явища у волоконно-оптичних лініях, моделювати різні види дефектів та відпрацьовувати навички діагностики. Це сприяє формуванню практичних компетенцій, необхідних для роботи в сучасних телекомунікаційних компаніях, а також розвитку критичного мислення та здатності приймати рішення у нестандартних ситуаціях[4].

Окрему увагу приділено питанням стандартизації процесів моніторингу та методик проведення діагностики. Впровадження уніфікованих процедур і протоколів тестування дозволяє забезпечити порівнянність результатів, оптимізувати графіки технічного обслуговування та зменшити ризик людського фактору під час оцінки стану ВОЛЗ. Перспективним напрямом є застосування алгоритмів штучного інтелекту для автоматичного аналізу рефлектометричних кривих та прогнозування можливих проблем у мережі[5].

Метою доповіді є дослідження методів моніторингу та діагностики волоконно-оптичних ліній зв'язку методом рефлектометрії, аналіз ефективності застосування OTDR-приладів у практичній експлуатації та навчальному процесі, а також визначення перспектив розвитку технологій контролю і управління оптичними мережами.

У доповіді наведено результати аналізу практичного застосування рефлектометрії для виявлення дефектів та оцінки якості ВОЛЗ, узагальнено проблеми їх впровадження у промислових та освітніх мережах, запропоновано рекомендації щодо оптимізації процесу технічного контролю та навчальної підготовки фахівців-телекомунікацій.

Також розглянуто можливості інтеграції даних OTDR у системи автоматизованого моніторингу для забезпечення оперативного управління мережею та підвищення її надійності.

Список літератури

1. Ковальчук Т.В., Шевченко О.В. Моніторинг волоконно-оптичних ліній зв'язку за допомогою OTDR. – Харків: Телекомунікації, 2023. – 144 с. DOI: 10.34725/fiber.2023.001

2. Іваненко І.О. Діагностика оптичних мереж: сучасні методи та інструменти. // Сучасні телекомунікаційні системи. – 2022. – №3. – С. 33–41. DOI: 10.32517/sts.2022.3.33

3. Agrawal G.P. *Fiber-Optic Communication Systems.* – Wiley, 2021. – 512 p. DOI: 10.1002/9781119507069

4. Міністерство цифрової трансформації України. Стандарти та рекомендації з експлуатації волоконно-оптичних мереж. – Київ, 2023. DOI: 10.37017/mdt.2023.014

5. Петренко Л.М. Використання рефлектометрії для навчання інженерів-телекомунікацій. // Телекомунікаційні системи та мережі. – 2024. – №2. – С. 10–19. DOI: 10.42110/tsn.2024.02.10

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖ (PON)

Костромицький А.І., Хан М.О.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Глобальне зростання попиту на високошвидкісний широкосмуговий доступ є беззаперечним трендом, що визначає розвиток сучасних телекомунікаційних мереж. Цей попит генерується проліферацією таких технологій, як 5G/6G, хмарні сервіси, потокове відео високої роздільної здатності та зростання IoT. У цьому контексті Пасивні Оптичні Мережі (PON) залишаються домінуючою технологією "останньої милі" завдяки своїй енергоефективності та масштабованості.

Однак, архітектурні обмеження традиційних PON вже не відповідають потребам наступних поколінь (NG-PON2, 25G/50G-PON), які вимагають значно більшої пропускної здатності, мінімізації затримки та гарантованої відмовостійкості.

Динамічні процеси, що відбуваються у мультисервісних мережах, мають значний вплив на зниження швидкості передачі пакетів у віртуальних з'єднаннях. Відтак, інженерні підходи до проектування PON еволюціонують, зміщуючись до впровадження динамічних, інтелектуальних та оптимізаційно-орієнтованих методологій.

Це включає розробку моделей, адекватних динамічним процесам у реальних високошвидкісних мультисервісних мережах, які використовують віртуальні з'єднання.

Метою доповіді є систематизація та аналіз ключових сучасних підходів до вдосконалення методів проектування пасивних оптичних мереж, зокрема у сфері багатоцільової оптимізації топології, динамічного розподілу ресурсів із застосуванням штучного інтелекту, а також визначення напрямків для створення комплексних фреймворків проектування, які враховують властивості статистичної самоподібності трафіку та вимоги до відмовостійкості.

Одним із центральних напрямків досліджень є багатоцільова оптимізація. Вона спрямована на досягнення балансу між мінімізацією капітальних (CAPEX) та операційних (OPEX) витрат і максимізацією критеріїв якості обслуговування (QoS) та відмовостійкості [1].

Для вирішення складних комбінаторних завдань, таких як вибір оптимального розміщення оптичних розгалужувачів та трасування волоконно-оптичних ліній, застосовуються метаевристичні алгоритми. Зокрема, Еволюційна стратегія (різновид Генетичних Алгоритмів) зарекомендувала себе як ефективний інструмент для пошуку квазі-оптимальних рішень, мінімізуючи загальну вартість розгортання та час на проектування [2].

Удосконалення також торкнулися забезпечення відмовостійкості (Resilience).

Впроваджуються багатоцільові моделі, які інтегрують оцінку ризиків та відновлюваності в процеси планування.

Це дозволяє проектувати мережі не лише з мінімальними витратами, але й зі здатністю автоматично перемаршрутизувати трафік у разі відмови елементів, що є критично важливим для мультисервісних мереж [1].

Ключовим проривом є застосування Глибокого Навчання з Підкріпленням (DRL) для створення проактивних та адаптивних механізмів Динамічного Розподілу Смуги Пропускання (DBA), особливо в архітектурах NG-PON2. Моделі DRL здатні прогнозувати інтенсивність трафіку. Це дає змогу Оптичному Лінійному Терміналу (OLT) динамічно коригувати обсяги наданої смуги пропускання, підвищуючи ефективність використання ресурсів [3]. Експериментальні дані підтверджують, що такі інтелектуальні підходи можуть забезпечити зменшення середньої затримки пакетів до 30% порівняно з традиційними статичними методами. Важливим аспектом вдосконалення є необхідність враховувати, що використання процедури спостереження за станом мережевих з'єднань свідчить про їхній нестаціонарний характер. У зв'язку з цим чинності набувають методи спостереження або прогнозування властивостей мережевих процесів, засновані на використанні узагальнених характеристик трафіка, які прийнято пов'язувати з властивістю статистичної самоподібності (self-similarity).

Незважаючи на значний прогрес, досі існує критичний дослідницький пробіл, пов'язаний із фрагментованістю існуючих оптимізаційних рішень. Більшість розроблених моделей зосереджуються на ізольованих аспектах — або на фізичній топології та CAPEX [1], або на динамічній продуктивності та QoS [3]. Не вистачає єдиної, цілісної (Holistic) моделі проектування, яка б одночасно враховувала вартість, фізичні обмеження, динамічні вимоги до QoS, властивості самоподібності трафіку та вимоги до відмовостійкості [3]. Майбутні дослідження повинні бути зосереджені на створенні комплексних "Holistic PON Design Frameworks", які об'єднують ці чинники в єдину функцію оптимізації.

Подальша робота також включає розробку практичних, економічно вигідних методів впровадження складних DRL-механізмів управління у стандартизоване обладнання OLT для його масштабного розгортання в комерційних мережах.

Список літератури

1. Alharthi, M., Mohamed, S. H., El-Gorashi, T. E. H., & Elmirghani, J. M. H. Resilience in PON-based data centre architectures with two-tier cascaded AWGRs. arXiv preprint arXiv:2407.09925. 2024. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.09925.

2. Marinho, J. C. F., de Souza, J. N., & de Oliveira, H. S. Evolutionary Strategy for Practical Design of Passive Optical Networks. Applied Sciences. 2019. Т. 9, № 5. С. 278. DOI: https://doi.org/10.3390/photonics9050278.

3. Róka, R. Optimization of the Decision Criterion for Increasing the Bandwidth Utilization by Means of the Novel Effective DBA Algorithm in NG-PON2 Networks. Future Internet. 2023. Т. 15, № 7. С. 242. DOI: https://doi.org/10.3390/fi15070242.

ОСОБЛИВОСТІ UX-ПРОЄКТУВАННЯ ВЕБ-ІНТЕРФЕЙСІВ ДЛЯ IOT-ПЛАТФОРМ

Грінь Д.В., Томак В.В.
Харківський національний університет радіоелектироніки, Харків, Україна

Сьогодні технології Інтернету речей (Internet of Things, IoT) активно розвиваються, і кількість користувачів, які керують розумними пристроями через веб-інтерфейси, постійно зростає. Такі системи вимагають особливого підходу до UX-дизайну, що формується на так званому «досвіді користувача» (User Experience, UX).

В цих системах взаємодія відбувається не лише між користувачем і програмою, але й також між самими пристроями, які здійснюють автоматичний обмін даними один з одним [1]. UX-проєктування IoT-платформ супроводжується низкою проблем, такими як:

– стабільність з'єднання,

– сумісність пристроїв,

– безпека даних.

Крім того, не менш важливим є те, щоб інтерфейси залишалися інтуїтивними та зрозумілими для користувачів, що мають різний досвід взаємодії з технологіями організації IoT-платформ [1]. Це говорить про те, що дослідження особливостей UX-проєктування веб-інтерфейсів для цих платформ є актуальним, адже розробка зручних, доступних і стабільних інтерфейсів сприяє не лише покращенню користувацького досвіду і якості взаємодії з цими технологіями, а й загальному рівню довіри до розумних систем.

Метою доповіді є визначення особливостей UX-проєктування веб-інтерфейсів для IoT-платформ, що забезпечують зручність взаємодії з ними користувачів із різним рівнем технічного досвіду.

Зокрема у доповіді:

– проводиться аналіз існуючих підходів до UX-дизайну в IoT-платформах,

– визначаються критерії ефективності набуття користувачами досвіду,

розглядаються приклади успішних реалізацій таких інтерфейсів у найп– оширеніших системах IoT,

– також надаються рекомендації щодо подальшого вдосконалення UX-рішень.

Аналіз, що висвітлюється у доповіді, ґрунтувався на дослідженнях створення веб-інтерфейсів платформ Google Home, Home Assistant та Blynk.

Було виявлено, що серед основних проблем UX є надмірна кількість інформації, перевантаження інтерфейсу візуальними елементами та відсутність єдиних принципів щодо здійснення дизайну [2].

Запропоновано у процесі проєктування веб-інтерфейсів для IoT-платформ використовувати підхід дизайну орієнтованого на користувача (User-Centered Design, UCD), і міжнародних стандартів щодо доступності веб-контенту (Web Content Accessibility Guidelines, WCAG 2.1), що враховують реальні сценарії використання та очікування користувачів при створенні доступних веб-сайтів та контенту [3].

Показано, що важливим аспектом є жорстке дотримання вимог стандартів WCAG 2.1, які визначають принципи доступності веб-контенту. Ці принципи ґрунтуються на чотирьох основах: сприйнятливість, керованість, зрозумілість та надійність.

Тобто інформація має бути доступною для сприйняття, елементи інтерфейсу – зручними для навігації та керування, контент – зрозумілим і передбачуваним, а система – стабільною та сумісною з різними пристроями [4, 5].

Поєднання принципів, що закладені у методології UCD, та вимог, що містяться у стандарті WCAG 2.1, не лише покращує якість досвіду користувача, але й забезпечує відповідність сучасним стандартам доступності, що робить технології IoT більш зрозумілими та привабливими для ширшого кола користувачів.

На основі отриманих результатів у процесі проведеного аналізу і досліджень був сформований узагальнений перелік UX-рекомендацій для веб-інтерфейсів IoT-платформ, що включає спрощення їх структури, адаптацію під мобільні пристрої, використання кольорового кодування станів пристроїв, додавання контекстних підказок і реалізацію візуального зворотного зв’язку.

Список літератури

1. Vinney C. Designing for the Internet of Things (IoT): UX challenges and solutions [Електронний ресурс] / C. Vinney. – 2024. – Режим доступу: https://www.uxdesigninstitute.com/blog/iot-ux/.

2. Проскуряков І. UI/UX дизайн: як інтерфейс впливає на поведінку користувачів [Електронний ресурс] / Ілля Проскуряков // Вебстудія SiTe-LiNe. – 2025. – Режим доступу: https://site-line.com.ua/ui-ux-dyzajn.

3. Hartson R., Pyla P. S. The UX Book: Agile UX Design for a Quality User Experience / Rex Hartson, Pardha S. Pyla. - 2nd ed. - Oxford (UK): Elsevier Science, 2018. - 968 p.

4. Understanding WCAG 2.2 [Електронний ресурс] // W3C Web Accessibility Initiative. - 2024. - Режим доступу: https://www.w3.org/WAI/WCAG22/Understanding/intro.

5. IoT Applications for Smart Buildings: Use Cases and Benefits [Електронний ресурс] // Digi International. - 2024. - Режим доступу: https://www.digi.com/blog/post/iot-applications-for-smart-buildings-use-cases-and

МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТРАФІКУ В IoT-МЕРЕЖАХ

Мірза Д.С., Ляшенко Г.Є.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Інтернет речей (Internet of Things, IoT) є ключовою технологією цифрової трансформації сучасного суспільства. Його основу становить мережа взаємопов'язаних сенсорів, контролерів і виконавчих пристроїв, що взаємодіють через різні канали зв'язку.

За оцінками аналітиків, кількість IoT-пристроїв у світі перевищує 20 млрд, і цей показник продовжує зростати.

Такий масштаб створює великі виклики для телекомунікаційних систем:

– збільшується навантаження на мережеву інфраструктуру,
– виникають затримки, перевантаження каналів, втрати пакетів,
– знижується якість обслуговування (QoS).

Проблема оптимізації трафіку в IoT-мережах є однією з найважливіших, адже від неї залежить ефективність збору, обробки та передачі даних. Оптимізація трафіку дозволяє:

– підвищити продуктивність мережі,
– зменшити енергоспоживання вузлів,
– збільшити пропускну здатність,
– стабільність з'єднань.

Це особливо критично для пристроїв із живленням від батарей і для бездротових сенсорних мереж (WSN) [1].

Метою роботи є аналіз і систематизація сучасних методів оптимізації трафіку в IoT-мережах, спрямованих на підвищення ефективності обміну даними та зменшення енергоспоживання.

Зокрема у процесі аналізу звертається увага на те, що основні методи оптимізації трафіку в IoT-мережах поділяють на три групи:

1. Структурні методи.

Передбачають оптимізацію топології та маршрутизації. Ієрархічні протоколи (LEACH, PEGASIS) формують кластери, у яких вузол-голова агрегує інформацію та передає її на шлюз. Це зменшує кількість однорангових передач і скорочує енергоспоживання [2].

2. Протокольні методи.

До них належать полегшені протоколи прикладного рівня – MQTT, CoAP, AMQP, а також протоколи мережевого рівня, як-от 6LoWPAN, що дозволяють стискати IPv6-заголовки та зменшувати обсяг службового трафіку.

Вибір протоколу безпосередньо впливає на затримку, обсяг переданих даних і стабільність з'єднання [3].

3. Інтелектуальні методи.

Використовують алгоритми машинного навчання та штучного інтелекту (AI/ML) для прогнозування навантаження, динамічного

балансування трафіку та адаптивної маршрутизації. Наприклад, системи на основі Q-learning або нейронних мереж можуть самостійно визначати оптимальні маршрути в умовах змінної пропускної здатності каналів [4, 5].

Показано, що практична реалізація методів оптимізації трафіку має широкий спектр застосувань:

- у розумних містах вона забезпечує ефективну роботу сенсорів моніторингу трафіку, якості повітря та систем освітлення;

- у промисловому IoT (IIoT) оптимізація допомагає зменшити затримку між датчиками і контролерами, підвищуючи точність автоматизації виробництва;

- у мережах екологічного моніторингу дозволяє продовжити час автономної роботи сенсорів у важкодоступних районах.

Іншим важливим напрямом є інтеграція IoT із хмарними та туманними обчисленнями (Cloud/Fog Computing).

Часткове переміщення обробки даних ближче до джерела (Fog) зменшує кількість трафіку, який передається до центру, та знижує затримку відгуку [6].

Проведений аналіз може бути використаний під час проєктування систем «розумного будинку», моніторингу довкілля, транспортних і промислових систем.

Список літератури

1. Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications // IEEE Communications Surveys & Tutorials, – No. 17(4). – 2015. – P. 2347-2376. DOI: 10.1109/COMST.2015.2444095.

2. Improved Energy Efficient Anytime Optimistic Algorithm for PEGASIS Protocol in IoT (IEEE Xplore) [Електронний ресурс]. – 2025. – Режим доступу до ресурсу: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=11048773.

3. A Quick Guide to Understanding IoT Application Messaging Protocols (eInfochips) [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://www.einfochips.com /blog/a-quick-guide-to-understanding-iot-application-messaging-protocols/

4. Artificial Intelligence, Machine Learning and Deep Learning in Internet of Things (ScienceDirect) [Електронний ресурс]. – 2025. – Режим доступу до ресурсу: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772586325000565

5. Traffic prediction and load balancing routing algorithm based on deep Q-network in SD-IoT (ScienceDirect) [Електронний ресурс]. – 2025. – Режим доступу до ресурсу: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1474034625004896

6. Журило О.Д. Архітектура та системи безпеки IoT на основі туманних обчислень / О.Д. Журило, О.С Ляшенко // Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. – № 1 (27). – 2024. – С. 54–66. DOI: https://doi.org/10.30837/ITSSI.2024.27.054

ПРОЕКТУВАННЯ ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖ

Скорик Ю.В., Синиця А.С.
Харківський національний університет радіоелектроніки Харків, Україна

Локальні мережі залишаються базовою інфраструктурою для підприємств, навчальних закладів та державних установ. Сучасне проєктування LAN вимагає врахування великих потоків мультимедійного трафіку, мобільних пристроїв, VoIP, а також підвищених вимог до інформаційної безпеки. При цьому базові етапи проєктування – збір вимог, вибір топології, планування кабельної структури, адресації та політик – зберігають свою актуальність.

Метою доповіді є розглянути методи та практичні підходи до проєктування локальних обчислювальних мереж (LAN) для офісних і навчальних середовищ. Навести основні вимоги до топологій, середовищ передачі, планування адресного простору, організації віртуальних мереж (VLAN), забезпечення якості обслуговування (QoS), безпеки та резервування. Метою роботи є розробка узагальнених рекомендацій, що дозволяють створювати масштабовані, керовані та безпечні локальні мережі з урахуванням реальних обмежень – бюджету, площі та очікуваних навантажень.

Під час проєктування важливо провести збір і класифікацію технічних та функціональних вимог, визначити оптимальну фізичну й логічну топологію, спланувати кабельну та електроживильну інфраструктуру, створити продуману адресну схему та політики VLAN, встановити правила забезпечення якості обслуговування (QoS) і безпеки, а також розробити проєкт резервування та системи моніторингу.

На початковому етапі виконують збір вимог. Після збору вихідних даних здійснюється вибір фізичної топології. Для середніх і великих мереж зазвичай застосовують трирівневу архітектуру, що складається з рівнів доступу (access), агрегації (distribution) і магістралі (core). Така модель забезпечує чітке розмежування функцій і полегшує адміністрування.

Кабельна підсистема є основою будь-якої локальної мережі. Для більшості проєктів рекомендовано використовувати неекрановану виту пару категорії UTP Cat 6 або Cat 6A, що дозволяє передавати дані зі швидкістю до 10 Гбіт/с на коротких відстанях. Для магістральних з'єднань між поверхами або будівлями зазвичай застосовують оптичне волокно. Особливу увагу приділяють правильному розміщенню комутаційних шаф, наявності резервних джерел живлення (UPS) для критично важливих вузлів, а також дотриманню схем прокладки, трасування та маркування кабелів [1, 2].

Наступним кроком є розроблення адресної схеми й налаштування VLAN. IP-адресацію доцільно будувати на основі приватних діапазонів із чітким поділом підмереж за відділами або функціональними зонами. Використання VLAN дозволяє логічно розділити трафік між адміністрацією, робочими місцями, гостьовим Wi-Fi, IP-телефонією та серверними

ресурсами. Для маршрутизації між VLAN застосовується обладнання третього рівня, де за допомогою списків контролю доступу (ACL) обмежується взаємодія між сегментами відповідно до політик безпеки. У системах, де передаються дані різних типів, важливо забезпечити якість обслуговування (QoS).

Безпека є невід'ємною складовою будь-якого мережного проєкту. Для її забезпечення мережу поділяють на сегменти, між якими встановлюють брандмауери.

Контроль доступу на рівні портів здійснюється за допомогою протоколу 802.1X або інших методів автентифікації. Бездротові з'єднання захищаються за стандартами WPA3 Enterprise або WPA2 Enterprise із використанням сервера RADIUS. Окрім того, необхідно регулярно оновлювати програмне забезпечення, зберігати резервні копії конфігурацій і захищати точки доступу від несанкціонованого втручання.

Не менш важливим аспектом є моніторинг і експлуатація мережі. Для цього впроваджуються системи контролю доступності й продуктивності на основі протоколів SNMP, BBC або TMN [1]. Адміністратори повинні дотримуватись процедур оновлення конфігурацій, резервного копіювання та відновлення, вести документацію, яка включає креслення, адресну книгу та інвентаризаційні відомості обладнання.

У процесі проєктування варто дотримуватися кількох практичних рекомендацій. Роботу доцільно починати зі збору вимог і прогнозу навантажень, застосовуючи модульний підхід – спочатку реалізується рівень доступу, потім агрегації й магістралі.

Важливо планувати IP-схему й VLAN із запасом на майбутнє розширення, впроваджувати принцип безпеки «за замовчуванням», забезпечувати сегментацію та шифрування трафіку. Не слід забувати про налагодження моніторингу та проведення регулярних тестів систем резервування.

Проєктування локальної мережі – це процес, який вимагає поєднання технічних знань і стратегічного бачення.

Грамотне планування дозволяє створити інфраструктуру, що відповідає поточним потребам організації, забезпечує стабільну роботу та залишається готовою до масштабування протягом кількох років при мінімальних експлуатаційних ризиках.

Список літератури

1. Ахрамович В. М. Комп'ютерні мережі: Навчальний посібник / В.М. Ахрамович. – К.: ДП «Інформ.-аналіт. Агентство», 2010. – 245 с.

2. Воробієнко П.П. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: Підручник для вищих навчальних закладів / П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.І. Резніченко. – К.: САММІТ-Книга, 2010. – 708 с.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ НУЛЬОВИМИ ЗОНАМИ ДЛЯ ПРИДУШЕННЯ ІНТЕРФЕРЕНЦІЇ У БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖАХ ВИСОКОЇ ЩІЛЬНОСТІ

Харченко Н.А., Сокольников В.Д., Перевало А.А.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Переваги використання бездротових технологій зв'язку зумовили стрімке зростання кількості користувачів і пристроїв, що потребують високошвидкісного доступу до мережі. Для задоволення цих вимог усе активніше застосовуються високочастотні діапазони, зокрема міліметрові хвилі, які забезпечують значну пропускну здатність і високу щільність передавання даних. Водночас зростання кількості точок доступу, особливо в умовах щільної міської забудови, призводить до підвищення рівня радіочастотних завад та ускладнення розподілу доступного спектрального ресурсу. Це зумовлює необхідність урахування особливостей поширення радіосигналів у складних неоднорідних середовищах.

Суттєвий вплив на характеристики каналу зв'язку мають фізичні явища, зокрема відбиття, дифракція, розсіювання та багатопроменевість, які спричиняють інтерференційні ефекти, зменшення рівня сигналу та часові затримки. У міських умовах додатковими джерелами перешкод є будівельні конструкції, рослинність, транспортні засоби та рухомі об'єкти, що зумовлюють часткове або повне блокування сигналу. Вагомий внесок у загасання міліметрових хвиль мають також атмосферні явища — дощ, туман і водяна пара. Крім того, у щільно населених районах спостерігається взаємна інтерференція між сусідніми точками доступу, які функціонують на тих самих або суміжних частотних каналах [1, 2].

Для подолання зазначених проблем у мережах нового покоління застосовуються технології Multiple Input Multiple Output (MIMO) антен, що дозволяють підвищити пропускну здатність мережі за рахунок просторового мультиплексування та одночасного обслуговування кількох користувачів. Зменшення взаємної інтерференції досягається через координацію багатьох точок доступу (Multi-AP Coordination, MAPC), зокрема методами координованого формування променя (Coordinated Beamforming, Co-BF), коли сусідні точки доступу спрямовують сигнали до конкретних користувачів.

Метою доповіді є дослідження моделі керування направленим променем в антенній системі MIMO з впровадженням навчання з підкріпленням.

У міських умовах щільного розгортання, традиційні методи формування променя забезпечують лише часткове придушення перешкод. Для подолання цих обмежень доречне інтелектуальне керування нулями у діаграмі спрямованості антени за допомогою навчання з підкріпленням (IntelliNull). Пропонований метод інтегрує координацію багатьох точок доступу із динамічним визначенням напрямків інтерференції та формуванням променя, що дозволяє придушувати найбільш шкідливі джерела перешкод від неасоційованих станцій, одночасно підтримуючи потужний сигнал для

асоційованих користувачів. IntelliNull інтелектуально направлятиме нулі до сусідніх станцій для зменшення інтерференції, спричиненої власними передачами AP. IntelliNull застосовує Deep Deterministic Policy Gradient (DDPG) для навчання агентів у режимі реального часу, що забезпечує детерміновану оптимізацію конфігурацій формування направленого променя та нульових зон. Запропонований підхід демонструє конкурентоспроможну продуктивність порівняно з моделлю на основі передбачення, що використовує метод повного перебору для знаходження найкращої конфігурації формування променя та глушіння інтерференції.

Пропонована система адаптується до динамічних змін мережевого середовища, включно з мобільністю станцій та варіаціями каналу, досягаючи майже оптимального придушення інтерференції навіть у сценаріях з перевантаженнями [3]. IntelliNull є високоефективним методом, який забезпечує значне підвищення пропускної здатності, меншу затримку та покращення співвідношення сигнал/шум у Wi-Fi середовищах великої щільності. Він перевершує традиційні підходи, де придушення перешкод здійснюється випадковим або обмеженим способом, забезпечуючи оптимальний розподіл ресурсів, співіснування багатьох точок доступу та зменшення конкуренції за канал.

Список літератури

1. Aranburu Altuna G. Effects of Propagation Environment for mmWave-network coverage and aggregate interface : Master's Degree in Telecommunications Engineering / Aalto University. Helsinki. – 2024. – 72 p.

2. Deep reinforcement learning based interference optimization for coordinated beamforming in ultra-dense Wi-Fi networks / Jamshid Bacha та ін. Elsevier – 2025. – P. 1-5.

3. A Study on Propagation Models for 60 GHz Signals in Indoor Environments / Letícia Carneiro de Souza та ін. Frontiers in Communications and Networks. – 2022. – P. 4-5.

МОДЕЛЮВАННЯ ДИСТРИБУТИВНОЇ КЕШ-СИСТЕМИ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА ЯДРО МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ 5G

Гайова С.Б., Золотарьов В.А.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Зі зростанням популярності потокового контенту, телекомунікаційні мережі 5G відчувають значне зростання навантаження, особливо на центральні вузли (ядро мережі). Динамічні процеси в мультисервісних мережах мають значний вплив на зниження швидкості передачі пакетів у віртуальних з'єднаннях. Традиційні архітектури, де контент зберігається централізовано, призводять до збільшення затримок і зниження загальної якості обслуговування (QoS). Вирішення цієї проблеми лежить у концепції кешування на границі мережі (Edge Caching), що дозволяє розміщувати популярний контент ближче до кінцевих користувачів. Це впливає на

оптимізацію систем управління, що є важливою науковою проблемою, а також тісно пов'язано з розвитком українського ринку телекомунікацій та його адаптацією до стандартів 5G [1].

Метою доповіді є розробка математичної моделі розподіленої кеш-системи, що функціонує на периферійних вузлах мережі 5G, для мінімізації трафіку в ядрі та зменшення кінцевої затримки.

Ефективність кешування на границі мережі критично залежить від стратегії розміщення та заміни контенту та здатності системи адаптуватися до нестаціонарного характеру зміни попиту користувачів. Чинності набувають методи спостереження або прогнозування властивостей мережевих процесів, засновані на використанні узагальнених характеристик трафіка, які прийнято пов'язувати з властивістю статистичної самоподібності. Застосування імітаційного моделювання на основі процесів Маркова для оцінки ймовірності попадання в кеш (hit ratio), як практикується у сучасних дослідженнях мобільних мереж [2]. Модель враховує вплив таких факторів, як обмежений обсяг кеш-пам'яті на базових станціях та динаміка популярності контенту [3]. Наведені дані показують, що на локальні флуктуації інтенсивності трафіка впливають робота операційної системи, об'єм буферів проміжних маршрутизаторів, типи інформаційних додатків, мережева топологія, число користувачів тощо. В контексті українських реалій, де важливим є ефективне використання наявного частотного ресурсу, оптимізація кешування стає одним з ключових завдань для впровадження послуг 5G [1]. Розроблена модель дистрибутивної кеш-системи ґрунтується на алгоритмі гібридного кешування, що поєднує стратегію LRU (Least Recently Used) та LND (Least Needed Distance), яка враховує не лише популярність, а й географічну відстань до контенту у сусідніх вузлах [2]. Імітаційне моделювання показало, що впровадження цієї гібридної стратегії забезпечує зменшення трафіку ядра мережі на 25-30% порівняно з традиційними підходами, а середня затримка доступу до контенту знижується на 15% [3]. Запропонована модель є ефективним засобом оптимізації застосування та експлуатації мобільних мереж 5G, дозволяючи значно знизити навантаження на ядро мережі. Це забезпечує ефективне врахування особливостей віртуальних з'єднань.

Подальші дослідження будуть спрямовані на інтеграцію механізмів машинного навчання для прогнозування попиту на контент та динамічної зміни стратегії кешування.

Список літератури

1. Божко О. В., Ковальчук О. В. Особливості впровадження та перспективи розвитку мобільних мереж 5G в Україні / О.В. Божко, О.В. Ковальчук // Проблеми розвитку телекомунікаційних систем. – № 1. – 2024. – С. 45-51.

2. Li R. Distributed Caching Strategies in 5G Wireless Networks: A Survey. / R Li, S. Cheng // *IEEE Comm. Surveys & Tutorials*. – No. 1. – Vol. 24. – 2022. – pp. 450–478.

3. Zhang Y. Modeling and Performance Analysis of Edge Caching in 5G Ultra-Dense Networks. / Y. Zhang., Y. Liu // *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. – No. 7. – Vol. 70. – 2021. – pp. 7192–7206.

АНАЛІЗ АНТЕННОГО УСТАТКУВАННЯ УПРАВЛІННЯ БПЛА

Борозняк Д.С., Іваненко С.А.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Якість управління БПЛА залежить від якості обладнання радіоканалу, одним з основних елементів якого є антенне устаткування.

В умовах сучасного радіочастотного середовища, насиченого різноманітними джерелами завад, постає необхідність у відповідному виборі антен із відповідними параметрами щодо спрямованості, стійкістю до багатопроменевого поширення сигналу та специфіки щодо поставлених задач їхнього використання [1].

Традиційні всеспрямовані антени не потребують чіткого позиціонування, але мають невелику дальність дії, тоді як спрямовані антени забезпечують суттєво більше підсилення, але потребують точного позиціонування. Тому вирішення практичних задач полягає у пошуку компромісу між мобільністю, енергетичною ефективністю та стабільністю каналу зв'язку.

Для аналізу антенного устаткування було розглянуто три основні класи антен [2]:

– всеспрямовані антени, що забезпечують кругове покриття і зручні для рухомих апаратів малої дальності;

– секторні антени, які використовуються для середніх дистанцій і дозволяють збалансувати енергетичні втрати;

– спрямовані антени (Yagi, панельні, параболічні), що забезпечують максимальний коефіцієнт підсилення при великій дальності польоту.

Важливим аспектом є вибір робочого діапазону. Для більшості цивільних БПЛА застосовуються частоти 2,4 ГГц та 5,8 ГГц (рис. 1), які забезпечують достатню пропускну здатність, але мають різні характеристики поширення: нижчі частоти – кращу проникність, вищі – більшу швидкість передачі даних. У військових і промислових системах використовуються UHF- і L-діапазони, що забезпечують зв'язок на більші відстані.

Ефективність антенної системи значною мірою залежить і від параметрів узгодження хвильового опору, смуги робочих частота кутової діаграми спрямованості. Для підвищення стабільності управління доцільним є використання антен з електронним або механічним регулюванням діаграми спрямованості, а також MIMO-технологій, які покращують стійкість до інтерференції та втрат сигналу [3].

Проведений порівняльний аналіз показав, що для систем управління БПЛА середнього класу найбільш ефективними є спрямовані антени з коефіцієнтом підсилення 10 – 15 дБі, що працюють у діапазоні 2,4–5,8 ГГц [4], а для отримання зображення більше підходять комбіновані антенні системи з круговою поляризацією.

Таке рішення дозволяє зменшити енергоспоживання, знизити ризик втрати зв'язку та забезпечити стабільну роботу безпілотника навіть при польотах на великі відстані або у складних умовах рельєфу [5].

Рис. 1. Робочі частотні діапазони систем управління БПЛА

Антенне устаткування є одним з ключових елементів системи управління БПЛА, від якого залежить не лише якість зв'язку, а й безпека польоту. Раціональний вибір типу антени, частотного діапазону та технології передачі даних дозволяє суттєво підвищити ефективність системи управління. У перспективі розвитку – впровадження інтелектуальних адаптивних антенних решіток, здатних автоматично змінювати діаграму спрямованості залежно від положення безпілотника, що забезпечить новий рівень надійності та автономності.

Надалі розвиток цієї галузі буде спрямований на інтеграцію антен у композитні конструкції корпусів, зменшення масогабаритних характеристик, використання енергозберігаючих матеріалів і створення адаптивних антенних систем з автоматичною переналаштовуваною частотою [6].

Список літератури

1. Лось А.М., Жирна О.В. Результати експерименту використання навігаційних антен з контрольованою діаграмою спрямованості на БПЛА в зонах активного подавлення засобами РЕБ. Збірник наукових праць ДНДІ ВС ОВТ, 2024. URL: https://dndivsovt.com/index.php/journal/article/download/378/349/

2. Яровий О.В. Системи управління безпілотними літальними апаратами для моніторингу наземних об'єктів. Журнал КПІ ім. Ігоря Сікорського. Системи управління, зв'язку та навігації, 2018. URL: https://journals.nupp.edu.ua/sunz/article/download/1129/948

3. Панченко І.В. Підвищення захищеності радіоліній супутникових навігаційних приймачів БПЛА. Системи і технології зв'язку, інформатизації та кібербезпеки, 2025. URL: https://journal.viti.edu.ua/index.php/cicst/article/view/121

4. Zhang Y., Ma K. Antenna Design for UAV Communication Systems. IEEE Access, Vol. 10, 2022. – P. 112534–112547.

5. Perez M., Lopez J. Low-cost Directional Antenna Design for Long-Range UAV Communication. International Journal of Electronics and Communications, Vol. 135, 2021.

6. Hassanalian M., Abdelkefi A. Classifications, Applications, and Design Challenges of Drones: A Review. Progress in Aerospace Sciences, Vol. 91, 2017. – P. 99–131.

ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ НЕЛІНІЙНИХ ЕФЕКТІВ НА ПАРАМЕТРИ ПЕРЕДАЧІ У ОПТИЧНИХ СИСТЕМАХ СІМЕЙСТВА WDM

Кравцов М.Д., Колтун Ю.М.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Розуміння фізичних процесів і закономірностей, що виникають під час поширення сигналів в оптичному волокні (ОВ), набуло особливої актуальності у зв'язку з необхідністю розв'язання однієї з найважливіших задач у галузі оптичних систем і мереж зв'язку – задачі зменшення впливу нелінійних ефектів на параметри передачі оптичних сигналів. Виникнення і вплив таких ефектів призводять до обмеження пропускної здатності ОВ, а також дальності передачі сучасних волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ).

Зацікавленість у підходах і методах зменшення впливу нелінійних ефектів на параметри передачі на цей час істотно зросла внаслідок постійного зростання оптичних потужностей і швидкості передачі інформаційних потоків. Особливо гостро ця проблема проявляється у високошвидкісних системах оптичного зв'язку на основі спектральним мультиплексуванням каналів за довжинами хвиль (Wavelength Division Multiplexing, WDM). У технологіях сімейства WDM завдяки реалізації одночасної передачі різних інформаційних потоків по декількох каналах, що організуються в одному ОВ на різних довжинах хвиль. За рахунок цього досягається значне підвищення пропускної здатності та, відповідно, швидкості передачі даних – від сотень гігабіт до кількох терабіт за секунду [1].

Метою доповіді є аналіз впливу нелінійних ефектів, що виникають в оптичному волокні, на параметри сучасних високошвидкісних оптичних систем на основі технологій WDM. Зокрема на пропускну здатність і протяжність оптичних ліній зв'язку.

У доповіді аналізуються нелінійні ефекти у ОВ, що пов'язані із змінами показника заломлення (рефракційного індексу n) волокна та процесами розсіювання, які найчастіше виникають у сучасних високошвидкісних оптичних системах сімейства WDM [2, 3]. Зазначено, що до явищ, пов'язаних із розсіюванням, відносяться стимульоване Бриллюєнівське розсіювання (SBS) і стимульоване Раманівське розсіювання (SRS) [3]. Показано, що SBS і SRS проявляються у тому, що оптичний сигнал розсіюється та зміщується в діапазон довших хвиль. Ефект SBS виникає у вигляді зустрічної хвилі (розсіювання відбувається лише у зворотному напрямку – у напрямку до джерела сигналу). Натомість SRS спостерігається як для зустрічних, так і для співнаправлених хвиль. При цьому зустрічні та співнаправлені хвилі розташовуються за частотою симетрично відносно основної частоти випромінювання, що передається, а енергія сигналу перетікає від однієї хвилі до іншої.

У системах сімейства WDM вплив нелінійних ефектів SBS і SRS проявляється у виникненні перехресних завад між каналами та у нерівномірному розподілі потужності в діапазоні сітки частот канальних

інтервалів WDM-системи: на одному кінці сітки частот канали підсилюються понад необхідний рівень, тоді як на іншому кінці – навпаки, відбувається швидке загасання сигналу.

До нелінійних ефектів, що пов'язані із зміною показника заломлення, належать чотирихвильове змішування (FWM), фазова самомодуляція (SPM) та перехресна фазова модуляція XPM) [2-4]. Ефект FWM виникає в оптичних системах, у яких одночасно присутні декілька довжин хвиль, що є характерним для систем WDM.

Показано, що взаємодія між сусідніми каналами в системах WDM призводить до появи комбінаційних піків, які, у свою чергу, створюють перехресні завади в суміжних каналах. Ефект SPM зумовлює частотний зсув на передньому та задньому фронтах спектра імпульсу, оскільки в цих зонах змінюється інтенсивність, а отже, і накопичення фази. У випадку наявності дисперсійних впливів такий частотний зсув може стати причиною звуження, розширення або іншого спотворення форми імпульсу. І нарешті ефект XPM за своєю природою подібний до SPM, однак розглядається вже стосовно двох і більше канальних інтервалів системи WDM [3].

В процесі аналізу для зменшення впливу нелінійних ефектів на параметри пропускної здатності і протяжності оптичних ліній систем WDM у доповіді були запропоновані наступні підходи і механізми: зниження оптичної потужності, що підводиться до каналу, до рівня, який буде нижчим за поріг SBS; збільшення спектральної ширини лазерного джерела; застосування ОВ, що будуть мати необхідний рівень хроматичної дисперсії, а також як найефективнішу площу перерізу; дотримання жорсткої регламентації оптичних частот для канальних інтервалів систем WDM для унеможливлення причин щодо появи нелінійних ефектів [4].

Запропоновані підходи і механізми зменшення впливу нелінійних ефектів на параметри передачі спираються на знання причин їх виникнення і принципів їх дії, що у свою чергу дозволяє правильно підійти до проєктування і розгортання систем WDM і підібрати відповідний до їх вимог тип ОВ.

Список літератури

1. Chadha D. Optical WDM Networks: From Static to Elastic Networks / Devi Chadha. – John Wiley and Sons Ltd, 2019 – 392 p.

2. Carena A., Curri V., Bosco G., Poggiolini P., Forghieri F. Modeling of the impact of non-linear propagation effects in uncompensated optical coherent transmission links // Journal of Lightwave Technology. – 2012. – Vol. 30. – No. 10. – P. 1524-1539.

3. Inter-channel nonlinear interference noise in WDM systems: modeling and mitigation / R. Dar, M. Feder, A. Mecozzi, M. Shtaif // Journal of Lightwave Technology. – 2015. – Vol. 33(5). – P. 1044–1053.

4. Robust and efficient receiver-side compensation method for intrachannel nonlinear effects / T. Oyama, H. Nakashima, S. Oda, T. Yamauchi, Z. Tao, T. Hoshida, J.C. Rasmussen // Proceedings of Optical Fiber Communication Conference. – San Francisco. – 2014.

АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ВІДЕОЗВ'ЯЗКУ FPV БПЛА

Головенко О.О., Іваненко С.А.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

У сучасному світі ефективність застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) критично залежить від якості та надійності каналу передачі відео в режимі реального часу (FPV) [1].

Ринок FPV-обладнання пропонує широкий вибір технологій, зокрема аналогових та цифрових, що робить процес вибору оптимальної системи складним завданням, яке вимагає спеціалізованих знань [2].

Метою доповіді є проведення комплексного аналізу та порівняння сучасних аналогових і цифрових FPV-систем для систематизації знань, що спростить процес вибору обладнання для вирішення конкретних завдань [3].

Для досягнення поставленої мети було вирішено наступні завдання: проведено теоретичний аналіз технологій передачі відеосигналу, визначено ключові параметри обладнання, які розглянемо нижче.

Затримка відео:

- аналогові системи – традиційно забезпечують дуже низьку затримку, зазвичай у межах 20–40 мс, що робить їх оптимальними для високошвидкісного пілотування і гонок, де критично важливий відгук на керування [1];
- цифрові системи– за останні роки значно покращилися; типові значення [1];
- DJI O3 Air Unit – затримка порядку 30–50 мс в стандартних режимах при використанні фірмових окулярів і приймача (реальні значення залежать від режиму стиснення та умов каналу) див. технічні дані виробника;
- Walksnail Avatar HD – затримка приблизно 30–60 мс у більшості конфігурацій за умов сильного шуму каналу;
- HDZero – орієнтований на низьку латентність і в реальних тестах показує значення, близькі до аналогових в оптимальних умовах.

Висновок по затримці: для FPV-гонок потрібні аналогові або спеціалізовані цифрові рішення (HDZero, оптимізовані конфігурації); для кінематографії та розвідки зручніші цифрові системи з прийнятною невеликою затримкою та кращою передачею деталей.

Якість зображення [2]:

- аналогові системи – мають обмежену роздільну здатність і виразну деградацію при зашумленні, але забезпечують плавне відтворення руху та широке поле огляду без артефактів стиснення.
- цифрові системи – дають значно кращу роздільну здатність, кольоропередачу та деталізацію;
- DJI O3 Air Unit – 1080p/60fps або подібні режими для запису/передачі, висока деталізація кадру і краща стабілізація картинки; корисно при кінозйомці та розвідці, що вказано в специфікації [3];

- Walksnail Avatar HD – концентрується на передачі HD-зображення з хорошою кольоропередачею та приємним зображенням у окулярах;
- HDZero – прагне до балансу між якістю та низькою латентністю, надає більш «чітке» зображення, ніж класичний аналог.

Вплив умов каналу: цифрові системи краще працюють у сприятливих умовах (пряма видимість), але при перешкодах зображення може затиратися або виникати буферизація, тоді як аналог дає «зашумлений» але все ще керований кадр.

Дальність зв'язку:

- аналогові системи – дальність залежить від потужності передавача (Tx), антен, висоти та умов; у відкритій місцевості практично досягають кількох кілометрів при правильній конфігурації.
- цифрові системи – мають конкурентну дальність завдяки сучасним протоколам та корекції помилок, але реальна дальність сильно залежить від режиму роботи, частоти та регіональних обмежень потужності:
- DJI O3 і подібні блоки можуть забезпечувати стабільний зв'язок на кілька кілометрів в ідеальних умовах, але виробник детально описує робочі режими в технічних даних [3];
- Walksnail і HDZero демонструють подібні практичні дистанції при належних антеноах і середовищі без перешкод.

Варто зазначити, що дальність – це не тільки потужність Tx; ключовими факторами є антенний план, висота антен, пряма видимість та спектральні перешкоди.

В доповіді за результатами дослідження розроблено рекомендації щодо вибору обладнання для типових сценаріїв застосування БПЛА, зокрема для високошвидкісних гонок, фрістайлу, кінематографічної зйомки та розвідки.

Результати роботи підтверджують, що вибір FPV-системи є компромісним рішенням, яке залежить від пріоритетних завдань оператора, та можуть бути використані інженерами й ентузіастами для обґрунтованого вибору обладнання з метою підвищення ефективності та безпеки польотів.

Список літератури

1. FPV Video Systems: Analog vs. Digital [Електронний ресурс] / Oscar Liang // URL: https://oscarliang.com/fpv-video-systems-analog-vs-digital/.
2. The Ultimate FPV Goggles & Video System Guide [Електронний ресурс] / DroneTrest // URL: https://www.dronetrest.com/t/the-ultimate-fpv-goggles-video-system-guide/5225.
3. Support for DJI O3 Air Unit. [Електронний ресурс] / DJI All Rights Reserved. URL: https://www.dji.com/o3-air-unit/specs.

МОНІТОРИНГ ПАРАМЕТРІВ В ОПТИЧНИХ СИСТЕМАХ WDM ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ OTDR

Чебаненко В.І., Колтун Ю.М.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Однією з основних вимог, що висуваються до реалізації і функціонування сучасних волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ) на основі будь-якої технології є забезпечення високих показників стабільності, готовності і надійності, тому що при передачі сигналів по таким лініям зв'язку виникають втрати і спотворення. Їх причинами виникнення є загасання сигналу, дисперсія та нелінійні спотворення в оптичному волокні (ОВ).

Крім того, у процесі експлуатації та прокладки оптичних ліній зв’язку увагу також треба приділяти і значенням механічного напруження ОВ, не дотримання яких може призвести до обривів і його старіння в часі. Ці та інші фактори зумовлюють необхідність постійного контролю стану ВОЛЗ, що потребує організації складних систем моніторингу в яких важливе місце займають процеси проведення вимірювань оптичним часово-імпульсним рефлектометром (Optical Time Domain Reflectometer, OTDR). Особливо це є актуальною задачею для протяжних оптичних систем на основі технологій сімейства WDM, оскільки в них усі параметри, що впливають на ефективність і цілісність передачі, потрібно вимірювати на довжині хвилі кожного канального інтервалу [1].

Метою доповіді є аналізу методологічних принципів проведення моніторингу параметрів оптичних ліній зв’язку із застосуванням OTDR в сучасних високошвидкісних системах WDM для забезпечення їх безвідмовної та надійної роботи.

У доповіді наводяться конструктивні особливості сучасних оптичних рефлектометрів, їх принципи функціонування та основні характеристики. Розглядаються методи рефлектометрії та пропонуються перспективні напрямки їх розвитку з урахуванням реальних ситуацій і технічних рішень. Наводяться метрологічні характеристики OTDR з проведенням аналізу рефлектограми та всіх її ділянок. Аналізуються підходи та методи підвищення ефективності функціональних можливостей OTDR. Обґрунтовується методика та пропонуються загальні рекомендації щодо організації проведення моніторингу параметрів ВОЛЗ на основі систем сімейства технологій WDM із застосуванням оптичних рефлектометрів.

Зокрема у роботі запропонована та проаналізована функціональна схема і методика проведення моніторингу параметрів ВОЛЗ таких систем на основі вимірювань із OTDR. Цей аналіз ґрунтувався на досліджені схем систем WDM без оптичних підсилювачів (ОП) та з ОП, що обумовлено тим, що ОП підсилюють як корисний сигнал, так і шум, який погіршує функціонуванні можливості приймача OTDR. Зокрема його діапазон вимірювання у разі моніторингу системи WDM з ОП відрізняється від діапазону моніторингу системи без оптичних підсилювачів. Це зумовлює необхідність визначення

впливу оптичних шумів на вимірювання, що проводяться OTDR, оскільки за наявності ОП ділянки оптичної лінії можуть сягати більше 150 км. Очевидно, що для проведення вимірювань OTDR накладається обмеження на довжину ділянки між ОП, яке у реальних системах WDM значно менше за вимоги щодо розташування ОП, що пов'язано із накопиченням шуму [3, 4].

Для забезпечення проходження OTDR-імпульсів через ОП з мінімальними втратами запропоновано здійснювати вимірювання поза смугою частот підсилення підсилювача, зокрема або на довжині хвилі 1310 нм, або вище довжини 1600 нм.

Такий підхід виявляється ефективним для відносно коротких ділянок оптичних ліній зв'язку (менше 100 км) [4]. Водночас, у разі наявності значних відстаней виникає потреба у використанні ОП безпосередньо для підсилення OTDR-імпульсів, інакше проведення вимірювань буде можливим лише на окремих ділянках WDM-системи.

Іншою проблемою моніторингу ВОЛЗ із застосуванням OTDR у системах WDM з ОП є наявність вбудованих ізоляторів, що блокують зворотне розсіювання світла, яке необхідне для аналізу лінії. Це обмежує вимірювання ділянкою ОВ між передавачем і першим підсилювачем [1, 4]. Для усунення цієї проблеми запропоновані два підходи: застосування обходу ОП з метою пропускання відбитого сигналу повз ізолятори та використання двонаправлених систем без ізоляторів.

Показано, що кращим є застосування другого підходу – на системах без ізоляторів, що працюють на довжині хвилі 1550 нм. Для його застосування спочатку треба зробити оцінку оптичного шуму у функції відстані від OTDR для оптичної лінії без ОП, а потім визначити відношення сигнал/шум (SNR) для оптичної лінії з ОП та зробити порівняння результатів моніторингу таких систем.

Список літератури

1. Вимірювання в оптичних кабельних мережах [Електронний ресурс] // Відділ волоконно-оптичних технологій і кабельних мереж компанії ДЕПС. – 2024. – Режим доступу: https://deps.ua/ua/knowegable-base/articles/vymir-v-opticheskih-kabelnyih-setyah.html#a6/.

2. Оптичний рефлектометр – влаштування, принцип дії та базові налаштування [Електронний ресурс] //Компанія EServer. – 2023. – Режим доступу: https://e-server.com.ua/uk/poradi/optichnij-reflektometr-vlashtuvannja-princip-dii-ta-bazovi-nalashtuvannja?srsltid=AfmBOorXYLUyAJLXZI4jMQ4MQ1dh6ECx TEnTH8wtrwgcuceXak1rc3EY

3. Soller B.J. Optical Backscatter Reflectometry (OBR) / B.J. Soller, D.K.Gifford, M. S.Wolfe, M. E. Froggatt // Photonics – 2019. – Vol. 13. – No. 10. – P. 452-460.

4. Welding optical fibers. Part 4: measurements on optics, capture and analysis of the reflectogram [Електронний ресурс] // Habr: IT infrastructure, network technologies. – july 5, 2014. – Режим доступу до ресурсу: https://habr.com/ru/articles/227647/.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ВІЙСЬКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

Стрілка В.Я., Чеботарьова Д.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Сьогодні системи та мережі зв'язку є не просто допоміжними засобами військових операцій, вони є їхньою стратегічною основою. В епоху інформаційного суспільства, коли інформація є значною силою, сучасні військові конфлікти стають все більш залежними від інформаційного домінування, а військовий зв'язок відіграє вирішальну роль в ефективності військових операцій [1]. Спосіб використання інфокомунікаційних (ІК) засобів у військових операціях також значно змінився протягом останніх років. Тепер вони є важливими для успіху місій, швидкого прийняття рішень та підтримки стратегічних переваг [2]. Для України в умовах воєнного стану питання вдосконалення військового зв'язку та впровадження сучасних засобів зв'язку є надзвичайно актуальними.

Метою доповіді є аналіз ІК засобів для організації військового зв'язку та впровадження сучасних можливостей для підвищення його ефективності.

До засобів зв'язку для військових потреб сьогодні висувається багато специфічних вимог.

Сучасні засоби зв'язку для військових потреб мають підтримувати безпечну, надійну та миттєву комунікацію між усіма видами збройних сил, в тому числі між особами, що приймають рішення та персоналом; забезпечувати командування, управління та обізнаність про ситуацію в режимі реального часу; гарантувати захист конфіденційних даних та запобігання несанкціонованому доступу; забезпечувати безперебійне виконання військових операцій та мінімізувати можливість їхнього зриву.

В роботі виконано аналіз різноманітних сучасних засобів зв'язку для військових, порівняння традиційних та сучасних військових ІК систем, порівняння військових технологій супутникового зв'язку та застосування новітніх технологій, наприклад штучного інтелекту. Впровадження таких сучасних можливостей як комунікаційні платформи на основі штучного інтелекту [2], квантове шифрування, передові супутникові мережі для оборонних цілей та інших може значно підвищити оперативну ефективність військового зв'язку.

Список літератури

1. Military communication systems: the backbone of secure operations. *Globalsys. Mobility & Awareness.* 15.04.2025. URL: https://global-sys.com/news/military-communication-systems-for-modern-missions/.

2. Mustafovski R. The Use of Communication Platforms in Military Operations: Enhancing Strategic and Tactical Effectiveness. Database Systems Journal vol. XVI. 2025. URL: https://www.dbjournal.ro/archive/36/36_1.pdf.

АРХІТЕКТУРНЕ РІШЕННЯ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ ВБУДОВАНОЇ СИСТЕМИ В IoT

Фомічов О.О., Дудка Д.В., Росінський Д.М.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Розробка архітектури енергоефективної вбудованої системи для застосувань Інтернету речей (IoT) є комплексною задачею, що вимагає збалансованого підходу до вибору апаратних компонентів, операційної системи реального часу та стратегій управління живленням. Вибір мікроконтролера в якості основи апаратної платформи є фундаментальним рішенням, що визначає енергетичний профіль всієї системи [1]. Вибір операційної системи реального часу (RTOS) суттєво впливає на можливості енергоефективної роботи вбудованої системи; сучасні RTOS пропонують різні підходи до управління енергоспоживанням, і вибір між ними залежить від специфічних вимог застосування. Програмна архітектура енергоефективної вбудованої системи повинна забезпечувати чітке розділення відповідальності між компонентами та підтримувати гнучку конфігурацію функціональності.

Метою доповіді є подання моделі трирівневої архітектури енергоефективної вбудованої системи для IoT. В межах цієї моделі запропоновано формальні критерії вибору програмно-технічних засобів.

Експериментальні результати, які характеризують енергоефективність відповідних архітектурних рішень, отримано для апаратної платформи на основі мікроконтролерів сімейства STM32L4 на базі ARM Cortex-M4F [2]. Продемонстровано баланс між продуктивністю та енергоефективністю для широкого спектру IoT-застосувань. Конвеєрна архітектура з перекриттям фаз виконання інструкцій забезпечує детерміновану продуктивність з мінімальною латентністю переривань, що є критично важливим для застосувань реального часу. Вибір операційної системи реального часу між FreeRTOS та Zephyr залежить від складності проекту та вимог до функціональності, при цьому Zephyr пропонує більш інтегроване рішення для управління живленням. Інтеграція підсистеми управління живленням у архітектуру системи дозволяє централізовано керувати енергетичними станами всіх компонентів. Динамічне управління живленням (DPM) аналізує поточний стан системи, прогнозує майбутні потреби у ресурсах та приймає рішення про переведення окремих компонентів або всієї системи у режими енергозбереження. Адаптивні алгоритми враховують історичні дані, поточний заряд батареї та пріоритет задач для оптимізації балансу між енергоефективністю та якістю обслуговування.

Список літератури

1. Eclipse Foundation. IoT & Embedded Developer Survey Report 2024. EmLogic AS, 2025. URL: https://emlogic.no/2025/04/zephyr-rtos-and-its-impact-on-iot/

2. Optimizing Energy Efficiency in Battery-powered IoT Devices: An Analysis of ESP32-WROOM Module Power Consumption. Engineering, Technology & Applied Science Research. 2024. Vol. 14, № 6. P. 18285–18290. DOI: https://doi.org/10.48084/etasr.9640.

ОСОБЛИВОСТІ ПЛАНУВАННЯ WI-FI ВЕЛИКИХ ПРОМИСЛОВИХ ПЛОЩ

Растяпін М.О. Рапін В.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Все зростаюча за значимістю роль Wi-Fi фактично зробило його обов'язковим інфраструктурним обслуговуванням великих промислових приміщень (гіпермаркети, склади, заводи).

Організація мережі в кожному конкретному випадку має суттєві відмінності через специфічні фактори, що впливають на забезпечення ритмічності технологічних процесів [1, 2].

Поява бездротових терміналів для збору даних кардинально змінила операційні процеси, дозволивши виконувати завдання з обліку запасів, руху товарів, обслуговуванні клієнтів у будь-якому місці.

Цей технологічний прогрес сприяв мобільності співробітників, клієнтів і критично важливого обладнання, такого як касові апарати, ваги, сканери, принтери, інформаційні термінали, а бізнес процеси виявилися більш критичними до якості Wi-Fi [1].

Метою доповіді є визначити деякі моменти, які слід враховувати під час проектування мереж Wi-Fi великих промислових площ складів.

Поширеною помилкою є неврахування спрямованості точки доступу, висоти її кріплення, висоти. стелажів та типу товарів, що зберігаються. Урахування цих параметрів і використання технології Beamforming вирішує цю проблему.

Нерідкі випадки, коли використовуються точки доступу з надмірною потужністю передавача, яка, разом з спрямованими антенами, може ефективно «освітлювати» зони з високою силою сигналу в радіусі 200 метрів. Однак такий підхід не враховує той факт, що клієнтське обладнання продовжує працювати на потужності 50 міліват (мВт), і точка доступу не може його виявити за жодних обставин.

Трапляється, що процес планування базується виключно на рівні сигналу, а планування частот не береться до уваги. Очевидно, що планування частот вносить додатковий елемент, який слід враховувати: відношення сигнал/шум (SNR).

Цей показник вказує на те, наскільки рівень сигналу від точки доступу перевищує рівень усіх потенційних шумів і перешкод, що виходять від сусідніх точок доступу, як тих, що належать до робочої точки доступу, так і тих, що належать до інших точок доступу, а також тих, що виходять від клієнтських пристроїв [3].

Величина навантаження мережі, яка визначається кількістю пристроїв Wi-Fi та їх активністю, безпосередньо корелює зі ступенем перешкод, які вони створюють для сусідніх точок доступу, що працюють на сумісних каналах.

Як наслідок, клієнтське обладнання демонструє повний діапазон сигналу, проте додатки залишаються нефункціональними.

Найефективнішим методом вирішення цих проблем є перехід на діапазон частот 5 ГГц, який дозволяє використовувати 24 неперекривні канали.

Однак впровадження діапазону 5 ГГц у Wi-Fi має певні нюанси, які необхідно враховувати.

По-перше, існує значна кількість старого клієнтського обладнання, яке працює виключно в діапазоні частот 2,4 ГГц. Це особливо актуально для складів, оскільки більшість таких клієнтів є старими.

По-друге, сигнал поширюється менш ефективно на частоті 5 ГГц ніж на частоті 2,4 ГГц.

Отже, при розробці мережі для діапазону 5 ГГц необхідно враховувати, що буде потрібно приблизно на 30% більше точок доступу (у конкретних випадках – до 100% більше).

Наприклад, у разі моделювання поширення сигналу в натовпі людей ефективний діапазон Wi-Fi (на рівні -67 дБм) у різних діапазонах буде відрізнятися у 2 рази. Але кількість каналів, які не перетинаються на частоті 5 ГГц значно більше.

Таким чином, досвід розробки Wi-Fi мереж великих промислових площ підтвердив, що виконання планування частот для радіомережі є обов'язковим.

У процесі створення мережі Wi-Fi доцільно спочатку налаштувати мережу на діапазон частот 5 ГГц. Доведено, що такий підхід дає значні переваги, особливо в плані підвищення масштабованості мережі. У майбутньому можна буде без зусиль організувати голосові послуги на своєму складі, швидко встановити Wi-Fi-відеокамеру в потрібному місці або облаштувати віддалене робоче місце, яке потребує великої пропускної здатності. Стабільність мережі в умовах виробництва повинна бути максимальною, оскільки будь-який збій загрожує простоєм. Тому не слід вибирати канал 2,4 ГГц як основний – у цьому діапазоні працює надто перехресна перешкода від різних систем [2].

Для покриття бездротовим зв'язком тисяч квадратних метрів, та ще й на кількох поверхах, переважним є безшовний Wi-Fi, коли в мережі використовується контролер, що виключає затримки при перемиканні між точками доступу і можливі зависання. Це досягається завдяки тому, що термінал починає шукати нову точку доступу до того, як перерветься з'єднання зі старою.

Список літератури

1. Михайло Л. Wi-Fi на складі, або не все так просто, як здається [Електронний ресурс]/ Л. Михайло // LWCOM. – Режим доступу: https://lwcom.com/blog/wi-fi-na-sklade-ili-ne-vse-tak-prosto-kak-kazhetsya/.

2. Розбираємося в тонкощах проектування Wi-Fi мереж в приміщеннях. [Електронний ресурс] // Habr. – Режим доступу: https://habr.com/en/specials/456918.

3. How to Establish a Local Area Network (LAN) Among Different Factory Sites? [Електронний ресурс] // PUSR. – Режим доступу: https://www.pusr.com/blog/How-to-Establish-a-Local-Area-Network-LAN-Among-Different-Factory-Sites.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ОСНОВІ PLC-ЗВ'ЯЗКУ

Райцев К.І., Філіппенко І.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Передача даних у системах комерційного обліку електроенергії за допомогою технології Power Line Communication має ряд особливостей, що впливають на достовірність і своєчасність отримання показників з лічильників. У сучасних умовах електричні мережі зазнають значних змін навантаження, зростає кількість споживачів, які використовують імпульсні джерела живлення, що призводить до підвищення рівня завад у каналі PLC та появи спотворень під час передачі інформації. Як зазначено в [1] інтеграція PLC у сучасні розподільчі мережі є ключовим чинником побудови інтелектуальних енергосистем нового покоління. Тому дослідження процесів функціонування PLC-обліку, розроблення алгоритмів контролю достовірності даних і підвищення надійності системи комерційного обліку є актуальною науково-прикладною задачею [2]. Однією з ключових проблем є необхідність створення моделі взаємодії апаратних і програмних компонентів системи АСКОЕ, що враховує динамічний характер передачі пакетів даних у мережах із різним рівнем завад. Важливим аспектом є реалізація алгоритмів, здатних автоматично визначати аномальні показники, виявляти розбаланс енергії та локалізувати несанкціоновані підключення.

Метою роботи є розробка структурно-програмної моделі автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії з використанням PLC-зв'язку, що дозволяє підвищити якість передачі даних і точність формування енергетичного балансу. У роботі наведено архітектуру системи, яка включає лічильники з PLC-модемами, концентратори збору даних та серверний комплекс АРМ обліку. Розроблено алгоритм послідовної обробки даних, що реалізує контроль достовірності пакетів, перевірку контрольних сум, синхронізацію часових міток і формування дельти балансу. Наведено результати аналітичних досліджень реальних даних, отриманих з фідерного аналізу PLC-мереж. Отримані результати показують залежність точності передачі даних від довжини лінії, кількості підключених абонентів та рівня електромагнітних перешкод. Застосування методу візуального контролю кривих споживання в комплексі АРМ підтвердило ефективність розробленого підходу до виявлення втрат і несанкціонованих споживань. Виявлено, що система PLC здатна забезпечити достовірність збору даних на рівні 95–97 % навіть у розгалужених мережах за умови періодичної синхронізації каналів і повторного опитування лічильників. Отримані результати дозволяють підвищити надійність і точність комерційного обліку електроенергії в розподільчих мережах низької напруги.

Список літератури

1. Наугольнова С. Б. Роль PLC-технології в концепції Smart Grid Ві –2014. – № 153. – С. 47–52.

2. Carcelle X. Power Line Communications in Practice. – Norwood (MA): Artech House, 2010. – 272 с.

Video2Agent: ІНТЕРАКТИВНИЙ АГЕНТ ДЛЯ ОБРОБКИ ВІДЕОКОНТЕНТУ НА ОСНОВІ СЕМАНТИЧНОГО ПОШУКУ

Хаханов І.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Розвиток технологій обробки природної мови (Natural Language Processing, NLP), векторних баз даних та мультимодальних моделей створив передумови для формування нових підходів до аналізу та пошуку інформації у відеоконтенті.

Традиційні методи базуються на пошуку за ключовими словами або ручному перегляді транскриптів, що є неефективним для обробки великих відеокорпусів і не враховує візуальний контекст сцени.

У роботі досліджується проблема семантичного та візуально-контекстуального аналізу відео, спрямована на створення інтелектуальної системи, здатної здійснювати інтерактивну взаємодію з мультимедійним контентом на основі аналізу текстових і візуальних ознак.

Метою дослідження є розроблення AI-керованого чатбота, що забезпечує діалогову взаємодію користувача з YouTube-відео, використовуючи семантичний пошук у векторній базі даних та аналіз ключових кадрів відеоряду.

Запропонована система реалізує повний функціональний цикл обробки мультимедійного контенту, який включає:

1) автоматичне отримання транскрипту відео з підтримкою кількох мов (англійська, українська тощо);
2) сегментацію транскрипту на фіксовані семантичні чанки, що слугують основними одиницями пошуку;
3) виділення ключових кадрів для кожного чанка, що репрезентують візуальний контекст відповідного фрагмента;
4) векторизацію текстових і візуальних даних із використанням моделей OpenAI та CLIP-подібних підходів до побудови спільного векторного простору;
5) збереження мультимодальних вкладень у векторних базах даних (Pinecone або Milvus);
6) семантично-візуальний пошук, який дозволяє системі враховувати як зміст транскрипту, так і візуальну складову сцени;
7) генерацію контекстно обґрунтованих відповідей з використанням великої мовної моделі (LLM) OpenAI.

Система реалізована у вигляді двостороннього веб-додатку на основі Streamlit, який забезпечує динамічне відображення метаданих, візуалізацію кадрів і збереження історії діалогу для підтримки контекстної узгодженості відповідей.

Експериментальна апробація проведена на відео англійською та українською мовами.

Результати дослідження показали, що поєднання текстових і візуальних ознак:

8) підвищує точність і релевантність результатів семантичного пошуку;

9) забезпечує глибше розуміння контенту сцени, що відображає контекст транскрипту;

10) скорочує час отримання потрібної інформації у великому відеоконтенті;

11) підвищує когерентність і змістовність діалогової взаємодії користувача з системою.

Наукова новизна роботи полягає у комплексній інтеграції семантичного аналізу тексту, векторного представлення зображень і генеративних мовних моделей для створення мультимодальної системи семантичного пошуку у відео.

Отримані результати підтверджують ефективність мультимодального підходу до побудови інтелектуальних інтерфейсів взаємодії з відеоконтентом.

Подальші дослідження планується спрямувати на покращення якості векторних репрезентацій зображень, розширення підтримки мов і дослідження адаптації системи до потокового відео.

Список літератури

1. Devlin, J., Chang, M. W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. In Proceedings of NAACL-HLT 2019. arXiv preprint arXiv:1810.04805. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.1810.04805

2. Karpukhin, V., Oğuz, B., Min, S., Lewis, P., Wu, L., Edunov, S., Chen, D., & Yih, W. (2020). Dense Passage Retrieval for Open-Domain Question Answering. In Proceedings of EMNLP 2020. arXiv preprint arXiv:2004.04906. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.04906

3. Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Petroni, F., Karpukhin, V., Goyal, N., Küttler, H., Lewis, M., Yih, W.-T., & Schwenk, H. (2020). Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks. In Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2020). arXiv preprint arXiv:2005.11401. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.11401

4. Sanh, V., Debut, L., Chaumond, J., & Wolf, T. (2020). DistilBERT, a distilled version of BERT: smaller, faster, cheaper and lighter. In Proceedings of the 5th Workshop on Energy Efficient Machine Learning and Cognitive Computing (NeurIPS 2019). arXiv preprint arXiv:1910.01108. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.1910.01108

5. Katharopoulos, A., Vyas, A., Pappas, N., & Fleuret, F. (2020). Transformers are RNNs: Fast Autoregressive Transformers with Linear Attention. In Proceedings of ICML 2020. arXiv preprint arXiv:2006.16236. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.2006.16236

6. Pinecone, Inc. (2024). Pinecone Vector Database. https://www.pinecone.io/

7. OpenAI. (2024). OpenAI API Documentation. https://platform.openai.com/docs/api-reference

ДЕРЕВО ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ВБУДОВАНИХ СИСТЕМ

Корнієнко В.Р., Шкіль О.С., Філіппенко О.І.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

У процесі проєктування вбудованих систем прийняття рішень має ієрархічний характер та описується за допомогою дерева проєктних рішень. Така модель дозволяє формалізувати залежності між вибором архітектури апаратної та програмної частин, характеристиками обчислювальної платформи, обмеженнями продуктивності та енергоспоживання. На верхньому рівні дерева визначаються базові параметри системи такі як клас задач (сигнальна обробка, керування в реальному часі, телеметрія тощо) та тип обчислювальної моделі. Наступні рівні деталізують вибір між реалізацією функціональних модулів у вигляді програмної логіки (GPP/SoC CPU), апаратних прискорювачів (FPGA/ASIC), або гібридних конфігурацій. Дерево рішень також відображає компроміси між пропускною здатністю, апаратними ресурсами та гнучкістю оновлення. Наприклад, вибір FPGA-прискорювача зменшує час обробки даних і навантаження на центральний процесор, але потребує додаткових ресурсів ПЛІС і складніший у верифікації. Натомість програмна реалізація на GPP забезпечує адаптивність і скорочує час розробки, однак має гірші показники детермінованості при роботі в режимі жорстких часових обмежень. Таким чином, дерево проєктних рішень виступає методологічною основою для систематичної оптимізації архітектури та визначення найефективнішої конфігурації з урахуванням домен-специфічних вимог.

Метою доповіді є продемонструвати роль дерева проєктних рішень як методологічного інструменту для системного обґрунтування вибору архітектурних рішень у вбудованих системах. Основна увага приділяється формалізації процесу пошуку компромісу між продуктивністю, енергоспоживанням, апаратними витратами та гнучкістю конфігурації. Наведено, яким чином багаторівнева структура рішень дає змогу визначити оптимальну точку поділу між програмною та апаратною реалізацією, а також забезпечити відтворюваність і прозорість інженерних рішень на ранніх етапах проєктування. Проаналізовано вплив використання запропонованих рішень у контексті побудови систем цифрової обробки сигналів та реалізації високонавантажених обчислювальних алгоритмів у SoC.

Список літератури

1. Lee E.A., Seshia S.A. Introduction to Embedded Systems – A Cyber-Physical System Approach. UC Berkeley, 2011. 491 p.

2. Шкіль О.С. Аналіз ефективності використання спеціалізованих обчислювальних модулів та бібліотек при реалізації алгоритмів цифрової обробки сигналів на платформі SoC / О.С. Шкіль, І.В. Філіпенко, А.М. Мірошник, В.Р. Корнієнко // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". – 2025. – № 1 (13). – С. 112-127. DOI: https://doi.org/10.20998/2411-0558.2023.01.07

МЕТОДИ БОРОТЬБИ З ПЕРЕВАНТАЖЕННЯМИ В IP-МЕРЕЖАХ

Калашніков М.Р, Бишиньов Д.І., Партика С.О.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Сучасні IP-мережі характеризуються високим рівнем динамічності трафіку та складною структурою маршрутизації, що створює потребу у впровадженні інтелектуальних методів оптимізації потоків даних. Традиційні алгоритми управління чергами, такі як Random Early Detection (RED), демонструють задовільну ефективність лише за умов детермінованого характеру трафіку, однак виявляються недостатніми для адаптації в мережах із властивостями самоподібності та довготривалими залежностями (Long-Range Dependence, LRD) [1]. Дослідження показують, що інтеграція програмно-визначених мереж (SDN) із методами машинного навчання дає змогу підвищити ефективність оптимізації трафіку завдяки централізованому управлінню потоками [2]. Впровадження SDN-контролера забезпечує можливість прогнозування перевантажень мережевих каналів і своєчасного коригування політик маршрутизації, що сприяє зниженню затримок у передачі даних та мінімізації втрат пакетів [3, 4].

Метою доповіді є огляд методу, що базується на поєднанні стохастичної моделі черги та алгоритму адаптивного керування пропускною здатністю.

Була розроблена модель оптимізації потоків IP-трафіку, заснована на гібридному підході, що інтегрує SDN-контролер, систему моніторингу стану мережі та адаптивний модуль керування чергами. Центральний контролер збирає інформацію про затримки, завантаженість каналів і втрати пакетів, після чого застосовує алгоритм динамічної маршрутизації для перерозподілу потоків у менш завантажені сегменти мережі.

Результати моделювання продемонстрували, що описаний підхід дозволяє зменшити середню затримку передачі пакетів на 15–25%, а також знизити рівень втрат пакетів у порівнянні з традиційними схемами маршрутизації без залучення SDN-контролера. Крім того, гібридна модель забезпечує швидку реакцію на раптові зміни мережевого трафіку, що є особливо важливим для потокових сервісів реального часу, таких як VoIP чи відеоконференції.

Список літератури

1. James F. Kurose, Keith W. Ross — Computer Networking: A Top-Down Approach, 8th Edition, Pearson, 2021.
2. William Stallings — Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud, Pearson, 2016.
3. Larry Peterson, Bruce Davie — Computer Networks: A Systems Approach, 6th Edition, Morgan Kaufmann, 2021.
4. W. Chen, Y. Li, S.H. Yang, “An Average Queue Weight Parameterization in a Network Supporting TCP Flows with RED,” IEEE Conference on Networking, Sensing and Control, London, 2007.

АДАПТИВНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ TCP ДЛЯ МЕРЕЖ 5G

Микуляич В.С., Золотухін М.В., Партика С.О.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

У сучасних мережах передачі даних основним протоколом, що використовується для забезпечення надійного зв'язку, є протокол управління передачею (TCP). Продуктивність TCP значною мірою визначається використовуваним алгоритмом контролю перевантаження. Алгоритми TCP еволюціонували протягом останніх трьох десятиліть, і було розроблено велику кількість варіацій алгоритмів для адаптації до різних мережевих середовищ. Мобільна мережа п'ятого покоління (5G) представляє новий виклик для впровадження механізму TCP, оскільки мережі працюють в середовищах з величезною щільністю користувацьких пристроїв і величезними потоками трафіку [1]. На відміну від мереж до 5G, які працюють у діапазонах нижче 6 ГГц, впровадження алгоритмів TCP у комунікаціях 5G mmWave буде ще більше ускладнено через значні коливання якості каналу та схильність до блокування через високі втрати проникнення та атмосферне поглинання.

Ці виклики будуть особливо актуальними в таких середовищах, як сенсорні мережі та додатки Інтернету речей (IoT) [2, 3].

Метою доповіді є огляд особливостей функціонування алгоритмів контролю перевантаження протоколу TCP у мережах п’ятого покоління (5G), а також аналіз їхньої адаптивності до умов передачі даних у середовищах з високими частотами, змінною пропускною здатністю та великою щільністю користувачів.

Розглядаються існуючі однопотокові та багатопотокові алгоритми TCP, що використовуються у попередніх поколіннях мереж, із подальшим порівнянням їх ефективності в умовах 5G mmWave.

Представлено алгоритм управління перевантаженням, який здійснює спостереження за динамікою заповнення черг у вузьких місцях без активного втручання у трафік, що дозволяє оцінювати роботу алгоритмів TCP у реальних мережевих умовах та визначати напрями вдосконалення механізмів управління перевантаженнями у мережах нового покоління.

Список літератури

1. Josip Lorincz, Zvonimir Klarin, Julije Ožegovi´ “A Comprehensive Overview of TCP Congestion Control in 5G Networks: Research Challenges and Future Perspectives” Review, p.41, Croatia, June 2021.
2. Ranysha Ware “Battle for Bandwidth: On The Deployability of New Congestion Control Algorithms” in Proceedings partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, Pittsburgh, August 2024
3. Larry Peterson, Bruce Davie – Computer Networks: A Systems Approach, 6th Edition, Morgan Kaufmann, 2021.

МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТРАФІКУ IP-МЕРЕЖ

Шашунькін К.А., Савченко Є.Ю., Зябліцев К.О., Янковський О.А.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

У сучасних мережах зростає значення не лише пропускної здатності, а й стабільність затримки, бо висока варіативність затримок призводить до погіршення якості передавання даних в реальному часі. Ці затримки спричиняються переповненням буферів маршрутизаторі, що негативно впливає на якість сервісів, які працюють в реальному часі.

Для вирішення цієї проблеми в системах TCP впроваджуються адаптивні механізми контролю перевантаженнями – Active Queue Management (AQM). Таким чином поєднання AQM з існуючими TCP алгоритмами створюється спільна екосистема керування трафіком, де кожен з рівнів впливає на ефективність один одного [1]. Основними інструментами оптимізації TCP є: Reno, NewReno або Vegas. Вони ефективні в сучасних мережах, однак у таких інструментів є свої недоліки – чутливість до втрат пакетів, через що, не забезпечується стабільність трафіку. Основною роллю таких інструментів TCP є оцінювання рівня перевантаження та його оптимізація [2].

Механізми AQM спрямовані на те, щоб зменшити середню затримку та запобігти переповнення буфера. Класичним представником таких алгоритмів є RED, який випадковим чином відкидає пакети, до того, як буфер маршрутизатора переповниться. Більш сучасні алгоритми CoDel та PIE намагаються підтримувати стабільну затримку шляхом динамічного регулювання інтенсивності відкидання. Але для злагодженої роботи TCP з AQM потрібно узгоджувати алгоритм із політиками маршрутизатора. Якщо цього не робити, черга стане неконтрольованою, що в кінцевому підсумку приводить до втрат пакетів [3].

Метою доповіді є аналіз аспектів сумісної роботи TCP в парі з різноманітними алгоритмами AQM задля оптимізації трафіку в комп'ютерних мережах.

Представлено переваги та недоліки таких алгоритмів, приведено порівняльний аналіз різних комбінацій сучасних механізмів TCP з AQM для подальшого вдосконалення вже існуючих алгоритмів. Також, в доповіді розглянуті аспекти практичної важливості щодо оптимізації трафіку в високонавантажених мережах.

Список літератури

1. Maeso Jiménez, Sergio. Control de Congestión TCP y mecanismos AQM. Universidad Carlos III de Madrid, 2017.
2. Järvinen, Iivari. Congestion Control and Active Queue Management During Flow Startup. University of Helsinki, 2019.
3. Bakhshi, Muhammad Saad. Evaluating Modern TCP Congestion Control Algorithms. Tampere University, 2025.

ЗАХИСТ ДАНИХ В КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ

Красюченко І.І., Партика С.О.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Сучасний розвиток цифрових технологій та глобальної мережі Інтернет зумовлює необхідність забезпечення надійного захисту даних і мережевої інфраструктури. Безпека комп'ютерних мереж (Network Security) є ключовим аспектом у сфері інформаційних технологій, адже гарантує конфіденційність, цілісність та доступність даних під час передачі їх між користувачами [1].

Основними завданнями мережевої безпеки є: авторизація доступу, контроль автентичності користувачів, шифрування даних та захист від несанкціонованого втручання. Мережевий адміністратор контролює доступ до інформаційних ресурсів, використовуючи ідентифікатори, паролі або інші засоби автентифікації [2].

Сучасна мережева безпека поєднує в собі апаратні й програмні засоби, а також методи моніторингу, антивірусного захисту, міжмережеві екрани, VPN та інші технології. Комплексний підхід дозволяє створити багаторівневу систему захисту, здатну протистояти сучасним кіберзагрозам [2,3].

Найважливіший інструмент забезпечення безпеки – криптографія, яка дозволяє перетворювати дані у форму, недоступну для стороннього читання. Вона складається з двох основних процесів – шифрування (encryption) та дешифрування (decryption). Для цього застосовують симетричні та асиметричні криптосистеми, зокрема RSA, DES, AES, MD5, SHA-1 та HMAC [3].

Метою доповіді є розгляд методу, що забезпечує конфіденційність, автентичність, цілісність даних, невідмовність та контроль доступу в умовах зростання обсягу мережевого трафіку та поширення хмарних технологій, які в свою чергу підвищують вимоги до ефективності криптографічних методів і управління ключами. Криптографія забезпечує доступ таким чином, щоб повідомлення могли бути прочитані лише уповноваженими особами, не змінювались під час передавання та не могли бути заперечені відправником.

Показано, що подальша робота та дослідження мають бути спрямовані на вдосконалення алгоритмів шифрування в умовах високого навантаження мереж, розроблення моделей адаптивного управління ключами та інтеграцію технологій штучного інтелекту для виявлення й попередження мережевих атак у режимі реального часу.

Список літератури

1. Anitha S., Padmalatha R. A Study on Network Security and Cryptography, Tamil Nadu, India, 2022.
2. William Stallings. Cryptography and Network Security: Principles and Practice, 5th Edition, 2011.
3. Stallings, W. Cryptography and Network Security: Principles and Practice (8th ed.). Pearson., 2022.

АКТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ЧЕРГАМИ МАРШРУТИЗАТОРІВ

Стрілковський Є.Е., Поляков Р.В., Партика С.О.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Із постійним зростанням обсягів переданих даних та кількості підключених пристроїв проблема мережевих перевантажень набуває особливої актуальності [1]. Надмірне навантаження може спричиняти зниження ефективності роботи мережі, збільшення затримок під час передачі даних і погіршення якості обслуговування користувачів (QoS) [2].

Схеми активного керування чергами маршрутизаторів (AQM) застосовуються для забезпечення якості обслуговування у телекомунікаційних мережах. Проте їх ефективність значною мірою залежить від правильного налаштування параметрів, а також вони мають певні недоліки у виявленні та регулюванні перевантажень за умов динамічної зміни мережевих характеристик [3].

Таким чином, необхідно приділяти особливу увагу дослідженню та розробці інноваційних технологічних рішень, спрямованих на подолання проблеми перевантажень у мережах, адже сучасні тенденції зумовлюють зростання обсягів переданих даних і підсилюють потребу в швидкій та надійній передачі інформації [4].

Метою доповіді є огляд методу активного управління чергою, який динамічно регулює імовірність відкидання пакетів залежно від довжини черги та поточного мережевого стану. Метод використовує єдиний показник перевантаження, обчислений на основі швидкостей надходження та відправлення пакетів, що дозволяє своєчасно реагувати на зміни інтенсивності трафіку.

Проведене моделювання показало, що метод забезпечує мінімальні втрати пакетів, високу пропускну здатність та прийнятні затримки в порівнянні з іншими методами, такими як: RED, BLUE, ERED та FRED. Метод демонструє лінійну обчислювальну складність O(n), що робить його придатним для практичної реалізації в сучасних маршрутизаторах. Представлений метод демонструє стійкість до коливань трафіку та забезпечує необхідний баланс між пропускною здатністю та затримкою.

Список літератури

1. W. C. Feng, K. G. Shin, D. D. Kandlur, D. Saha. The BLUE active queue management algorithms. IEEE/ACM Trans. on Networking, vol. 10, no. 4, pp. 513–528, 2002.

2. S. Floyd, V. Jacobson. Random early detection gateways for congestion avoidance. IEEE/ACM Trans. on Networking, vol. 1, no. 4, pp. 397–413, 1993.

3. A. Abu-Shareha. Integrated random early detection for congestion control at the router buffer. Computer Systems Science and Engineering, vol. 40, no. 2, pp. 719–734, 2022.

4. A. Vijayaraj et al. Congestion avoidance using enhanced BLUE algorithm. Wireless Personal Communications, vol. 128, no. 3, pp. 1963–1984, 2023.

МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ДАНИХ В ВИСОКОШВИДКІСНИХ МЕРЕЖАХ

Савченко Є.Ю., Кошаренко Д.С., Шум Д.О., Янковський О.А.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

У сучасних кластерних системах проблема ефективного управління потоками даних стає ключовою. Традиційний протокол TCP (Transmission Control Protocol) забезпечує надійність передавання, контроль потоку й перевірку помилок, однак має істотні обмеження при великій кількості одночасних з'єднань. Високі накладні витрати TCP призводять до затримок і перевантаження процесора, тому в наукових і комерційних системах дедалі частіше застосовуються альтернативні підходи.

Одним із таких рішень є використання технологій RDMA (Remote Direct Memory Access) [1], які дозволяють передавати дані без залучення центрального процесора, мінімізуючи затримки. Гібридні моделі, що поєднують Ethernet і високошвидкісні RDMA-мережі, демонструють значне покращення масштабованості. Зокрема, підхід datagram-iWARP забезпечує RDMA-передачу, що робить її придатною для інтеграції в існуючі мережеві середовища [2]. Управління потоками даних у таких мережах базується на принципах динамічного резервування каналів і буферів. Це дозволяє виділяти ресурси під конкретні потоки з урахуванням їх пріоритету, уникати перевантаження та втрати пакетів. Резервування смуги пропускання стає важливою складовою QoS (якості обслуговування), що особливо критично для центрів обробки даних [3].

Метою доповіді є огляд сучасних моделей і методів управління потоками даних у високошвидкісних мережах, зокрема у системах, де поєднуються технології Ethernet, TCP/IP і RDMA. Особливу увагу приділено підвищенню продуктивності, резервуванню каналів, зниженню затримок і забезпеченню стабільності передавання даних у масштабованих обчислювальних середовищах.

Розглянуті в доповіді методи включають оптимізацію протоколів рівня з'єднання та адаптацію MPI-інтерфейсів до RDMA-технологій. Такий підхід забезпечує зростання продуктивності, стабільність роботи при масштабуванні та ефективне використання мережевих ресурсів.

Список літератури

1. R. Recio, P. Culley, D. Garcia, J. Hilland and B. Metzler. April 2005. An RDMA protocol specification. [http://tools.ietf.org/html/draft-ietf-rddp-rdmap-07.txt], Last accessed on: Sept. 20, 2012.

2. R. E. Grant, M. J. Rashti, P. Balaji, A. Afsahi, "Remote Direct Memory Access over Datagrams," U.S. Patent Pending, Dec. 2011.

3. F.J. Alfaro, J.L. Sánchez and J. Duato. "QoS in InfiniBand Subnetworks," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 15(9):810-823, Sept. 2004.

МЕТОДИ БЕЗПЕЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Толубко О.Ю., Литвиненко Ґ.К., Партика С.О.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Зі збільшенням масштабів сучасних інформаційних систем безпека комп'ютерних мереж стає ключовим чинником їх надійної роботи. Мережеві інфраструктури сьогодні об'єднують тисячі пристроїв, працюють у хмарних середовищах, обслуговують критичні сервіси банків, органів державної влади, медичних і промислових систем [1].

Загрози еволюціонують швидше, ніж захист. Крім класичних атак типу DoS та DDoS, сьогодні активно застосовуються методи перехоплення трафіку, підміна ARP, атаки на DNS, сканування портів, експлуатація вразливостей протоколів, а також проникнення через помилки конфігурацій.

Все частіше фіксуються комплексні багатоступеневі атаки, де зловмисник спочатку отримує мінімальні права, а потім розширює їх, використовуючи легітимні сервіси, тунелювання трафіку та шифрування, щоб уникати виявлення [2].

Однією з ключових проблем є те, що сучасні мережі стають дедалі більш динамічними. Віртуалізація, контейнеризація, хмарні сервіси та віддалений доступ створюють умови, у яких традиційні методи захисту не завжди справляються. Через це зростає потреба в адаптивних підходах, що здатні підлаштовуватися під змінні умови та виявляти загрози ще до того, як вони спричинять реальні пошкодження [3,4].

Метою доповіді є аналіз сучасних загроз комп'ютерним мережам та огляд основних механізмів забезпечення безпечної передачі даних.

Розглянуто роботу традиційних інструментів захисту, таких як фаєрволи, мережеві екрани, VPN, протоколи шифрування, IDS/IPS системи, сегментація та ізоляція мережевих зон.

У доповіді порівнюються класичні та сучасні методи захисту, аналізується їх ефективність у мережах різного масштабу та з різним рівнем навантаження. Визначено чинники, що впливають на продуктивність систем безпеки, такі як затримки, пропускна здатність та кількість контрольованих вузлів. Підкреслюється важливість комплексного підходу до безпеки, який поєднує технічні засоби, організаційні політики та регулярний моніторинг.

Список літератури

1. Scarfone K., Mell P. Guide to Intrusion Detection and Prevention Systems. NIST, 2021.
2. Zekri M., Jouini W. Analysis of DDoS Attacks and Defense Mechanisms. Journal of Networks, 2017.
3. Sommer R., Paxson V. Outside the Closed World: On Using ML for Network Intrusion Detection. IEEE Symposium on Security and Privacy, 2010.
4. Beale J., Baker A. Snort Intrusion Detection and Prevention Toolkit. Syngress, 2016.

АНАЛІЗ РОБОТИ АЛГОРИТМІВ AQM В ВЕЛИКИХ МЕРЕЖАХ

Султанов Р.А., Рагулін А.О., Партика С.О.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Алгоритми активного управління чергами (AQM) відіграють ключову роль у забезпеченні стабільної роботи комунікаційних мереж та підвищенні якості обслуговування шляхом запобігання перевантаженням та зменшення затримок у мережевих вузлах [1].

Методи управління чергами поділяються на пасивні та активні. Так DropTail обробляє трафік до заповнення буфера, після чого відбувається відкидання пакетів і збільшення затримок. На його заміну прийшли активні методи, зокрема RED, який виявляє перевантаження до заповнення буфера, використовуючи ймовірнісне скидання пакетів на основі середньої довжини черги [2,3].

Покращена версія RED – алгоритм ARED динамічно коригує параметри та підвищує стабільність у різних мережевих умовах, забезпечуючи більш ефективний контроль черги. Інший сучасний підхід – CoDel зосереджується на мінімізації затримок та вирішує проблему «bufferbloat», контролюючи час перебування пакета в черзі, а не її довжину [4].

Метою доповіді є огляд сучасних алгоритмів AQM (RED, ARED, CoDel) та аналіз їх ефективності у великих мережах з точки зору пропускної здатності, втрат пакетів та затримок. За результатами досліджень, ARED перевершує RED за показниками пропускної здатності та затримок, тоді як CoDel показує кращі результати при роботі з трафіком, схильним до буферизації. В доповіді проаналізовано сучасні алгоритми управління чергами, що забезпечують стабільність роботи мережі та дозволяють транспортним протоколам ефективно реагувати на зміну мережевих умов.

Розглянуті підходи спрямовані на забезпечення балансу між використанням доступного канального ресурсу та мінімізацією втрат пакетів, що дозволяє уникати ефекту bufferbloat та перевантаження вузлів маршрутизації. Таким чином, використання AQM покращує стабільність мережі та якість обслуговування при високих навантаженнях.

Список літератури

1. S. H. Low, ‘‘A duality model of TCP and queue management algorithms,’’ IEEE/ACM Trans. Netw., vol. 11, no. 4, pp. 525–536, Aug. 2003.

2. S. Floyd and S. Shenker, ‘‘Random early detection gateways for congestion avoidance,’’ IEEE/ACM Trans. Netw., vol. 1, no. 4, pp. 397–413, Aug. 1993.

3. Z. H. A. O. Yu-hong, Z. H. E. N. G. Xue-feng and T. U. Xu-yan, “Research on the improved way of RED algorithm S-RED,” International Journal of u-and e-Service, Science and Technology, vol. 9, no. 2, pp. 375–384, 2016.

4. K. Nichols and V. Jacobson, ‘‘Controlling queue delay,’’ Commun. ACM, vol. 55, no. 7, pp. 42–50, Jul. 2012.

МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ДАНИХ

Рибкін Д.В., Черномаз Д.І., Партика С.О.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Потоки даних у високошвидкісних мережах являють собою безперервні послідовності пакетів інформації, що передаються між пристроями з високою швидкістю та мінімальними затримками.

Ці потоки характеризуються різноманітністю типів даних, нелінійною природою трафіку та різним властивостями, що ускладнює їх прогнозування та обробку [1,2].

Сучасні високошвидкісні мережі стикаються з викликами, пов'язаними з різким зростанням обсягів трафіку, динамічними змінами навантаження та різноманітністю вимог до передачі даних [3].

Без сучасних та продуктивних моделей і методів управління виникають проблеми перевантаження, збільшення затримок і зниження якості обслуговування, що особливо критично для застосунків реального часу, таких як автономні транспортні системи, потокове відео високої чіткості чи різноманітні IoT-додатки.

Таким чином, аналіз нових підходів до управління потоками даних є необхідним для забезпечення стабільності та продуктивності високошвидкісних мереж [4].

Метою доповіді є аналіз моделей і методів управління потоками даних у високошвидкісних мережах, які враховують динамічні характеристики трафіку та забезпечують адаптивний розподіл ресурсів. Розглянуті методи спрямовані на підвищення ефективності використання пропускної здатності, зменшення затримок і прогнозування потенційних перевантажень шляхом використання сучасних технологій, таких як машинне навчання та оптимізація на основі лінійного програмування з частковими цілочисельними обмеженнями (MILP).

Доповідь також має на меті оцінку ефективності цих методів у порівнянні з традиційними підходами для управління трафіком в умовах високонавантажених мереж, що в кінцевому підсумку забезпечує необхідну якість обслуговування (QoS).

Список літератури

1. Baek-Young Choi, "Scalable Network Monitoring in High Speed Networks", Publisher: Springer, 2014. 163 p.
2. Kurose J. F. Computer Networking: A Top-Down Approach. 7-ме вид. Pearson Education, Limited, 2016. 864 p.
3. S. Ghafoor, M. H. Rehmani, A. Davy, "Next Generation Wireless Terahertz Communication Networks", Publisher: CRC Press, 2024. 530 p.
4. G. Bocewicz, J. Pempera and V. Toporkovz, "Performance Evaluation Models for Distributed Service Networks", Publisher: Springer, 2021. 204 p.

УПРАВЛІННЯ ВИСОКОШВИДКІСНИМИ МЕРЕЖАМИ

Зябліцев К.О., Самойленко В.А., Янковський О.А.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Оптичні мережі є основою сучасних телекомунікаційних систем, забезпечуючи високу пропускну здатність і низьку затримку. Проте, основною постійною витратою на експлуатацію мережі є вартість її управління і в багатьох випадках призводить до великої вартості розгортання мережі [1].

У сучасних умовах стрімкого розвитку інформаційних технологій управління мережевим трафіком набуває особливого значення для забезпечення ефективного функціонування комп'ютерних мереж.

Із зростанням обсягів переданих даних, посилюється потреба в оптимальному розподілі ресурсів та підтриманні стабільної роботи всієї мережевої інфраструктури.

Традиційна система надання статичних мережевих послуг не може впоратися з сучасними динамічними потребами корпоративного сектору та кінцевих користувачів. Розмір та складність існуючих мереж зростають, що призводить до значних проблем в управлінні, експлуатації та обслуговуванні мережі [2].

Нова мережева парадигма, що називається програмно-визначеними мережами (SDN) – це архітектура для подолання проблем традиційних мереж передачі даних. SDN надає солідний потенціал для гнучкого керування потоками трафіку та управління мережею [3].

Метою доповіді є аналіз взаємозв'язку між керованими елементами, алгоритмами управління комутаторами та протоколами встановлення шляху передачі, а також застосовуваної стратегії досягнення ефективного динамічного управління оптичними мережами на основі SDN.

В доповіді продемонстровано, що використання архітектури Software-Defined Networking дозволяє значно підвищити гнучкість і ефективність управління оптичними мережами. Розглянуто алгоритми встановлення оптичних шляхів, які забезпечують автоматичне та оптимізоване виділення ресурсів залежно від поточного стану мережі й потреб трафіку. Завдяки централізованому управлінню досягається швидше реагування на зміни топології, зменшується час простою та мінімізується людський фактор при конфігурації обладнання.

Список літератури

1. S. Qureshi, "Path Establishment in Software Defined Optical Networks," University of Technology Sydney, 2023.

2. V. Orio Curri, "Towards the Opening of Optical (Disaggregated) Networks – Management and Automation Perspective,", Politecnico di Torino, 2023.

3. E. Ollora Zaballa, "Control and Data Plane Programming-Driven SDN Management and Operation: A Top-Down Approach," Technical University of Denmark, 2022.

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ ДО КІБЕРЗАГРОЗ

Сущенко А.О., Партика С.О.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Збільшення кількості комп'ютерних мереж привело до появи чисельних видів Інтернет-загроз. У зв'язку з цим питання підвищення мережевої безпеки набуває життєво важливого значення для кожної організації.

Проблеми мережевої безпеки відрізняються залежно від типів атак. Типові з них включають як фізичні атаки (видалення вузлів або кабельних з'єднань), так і логічні – каскадні відмови, схожі на поширення вірусів [1].

Порушення безпеки створює значну ймовірність несанкціонованого доступу до даних, що може призвести до незаконного використання, розкриття, видалення, зміни або пошкодження інформації, а також її передачі конкурентам. Оскільки більшість випадків порушення відбувається із застосуванням сучасних технологій, наразі розроблено обмежену кількість ефективних рішень для їх блокування [2].

Безпека комп'ютерних мереж передбачає ідентифікацію, автентифікацію та авторизацію користувачів, а також захист цілісності, доступності та автентичності інформації.

Ефективна система захисту має бути побудована індивідуально для кожної мережі з урахуванням її структури, масштабу та поточних потреб [3].

Метою доповіді є аналіз сучасних підходів до забезпечення безпеки комп'ютерних мереж, виявлення ключових загроз, що впливають на стабільність та цілісність даних, а також розгляд методів їх запобігання. Особливу увагу приділено питанням організації доступу, системам автентифікації та шифрування, використанню віртуальних приватних мереж (VPN) для безпечного обміну інформацією, а також технологіям виявлення та запобігання вторгненням (IDS/IPS).

У межах доповіді розглянуто роль людського фактору та політик інформаційної безпеки, що визначають ефективність комплексного захисту.

В доповіді розглянуто перспективні методи підвищення рівня стійкості корпоративних мереж до сучасних кіберзагроз, які можуть бути використані для вдосконалення систем захисту інформаційних ресурсів у різних галузях – від освітніх закладів до бізнес-структур.

Список літератури

1. Li A., Pan Y. A Theory of Network Security: Principles of Natural Selection and Combinatorics. – Internet Mathematics, Vol. 12, pp. 145–204, 2016.

2. Stallings, W. Cryptography and Network Security: Principles and Practice (8th ed.). Pearson., 2022.

3. Anitha S., Padmalatha R. A Study on Network Security and Cryptography, Tamil Nadu, India, 2022.

МАРШРУТИЗАЦІЯ В IP-МЕРЕЖАХ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Юніков О.С., Тарасенко Д.П., Партика С.О.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

IP-мережі залишаються базовими у сучасній комунікаційній інфраструктурі, забезпечуючи передачу даних у промислових, корпоративних та хмарних середовищах.

Проте зі зростанням обсягів трафіку та ускладненням топології традиційні алгоритми маршрутизації втрачають ефективність. Вони не враховують динамічні зміни поточного мережевого стану, мають відносно обмежену масштабованість і часто не здатні приймати рішення в реальному часі [1, 2].

Останні дослідження показують, що методи машинного навчання (Machine Learning, ML) – зокрема нейронні мережі та глибинне навчання з підкріпленням (Deep Reinforcement Learning, DRL) відкривають нові можливості для побудови адаптивних систем маршрутизації. Вони здатні самостійно навчатися на основі мережевих даних, прогнозувати перевантаження та приймати оптимальні рішення щодо вибору маршруту [3, 4].

Метою доповіді є аналіз сучасних підходів до інтеграції ML у процеси маршрутизації в IP-мережах, визначення основних переваг, викликів і перспектив використання інтелектуальних алгоритмів у цій сфері.

В доповіді узагальнено результати літературного огляду, що охоплює ранні спроби застосування нейронних мереж для вибору найкоротшого шляху та зменшення затримок, використання моделей прогнозування трафіку й механізмів активного управління чергами, а також впровадження DRL для адаптивної маршрутизації. Особливу увагу приділено проблемам безпеки та стійкості алгоритмів до шкідливого трафіку.

Показано, що комбіновані моделі, які поєднують глибинне навчання з графовими нейронними мережами, забезпечують найкращий баланс між швидкістю прийняття рішень, точністю прогнозування та адаптацією до зміни умов у реальному часі. Водночас залишається актуальним завдання інтеграції ML-рішень у вже наявну мережеву інфраструктуру без порушення сумісності протоколів.

Список літератури

1. Rauch H., Winarske T. Neural networks for routing in communication networks. IEEE Transactions on Neural Networks, 1988.
2. Amin R., Almasan P., Suárez-Varela J. A survey on machine learning for routing in Software-Defined Networks (SDN). IEEE Access, 2021.
3. Almasan P., Xiao L., Suárez-Varela J., et al. Deep reinforcement learning for WAN traffic optimization. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2022.
4. Barabas M., Rotar R., Szabo R. Multipath routing framework based on neural network traffic prediction. IEEE Communications Letters, 2011.

AQM З ВИКОРИСТАННЯМ МАШИННОГО НАВЧАННЯ RL

Борисова Д.Є., Харебов М.Ф., Партика С.О.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Активне управління чергою (AQM) – технологія контролю перевантаження на рівні мережі, яка спонукає маршрутизатори відкидати пакети для запобігання виникнення переповнення буферів [1].. К

ласичні методи AQM часто використовують евристичні підходи, які вимагають ретельного налаштування параметрів, що обмежує їх практичне застосування.

Традиційні методи управління не можуть впоратися з швидкозмінним мережевим станом, що призводить до таких небажаних явищ як «bufferbloat» [2].

На відміну від цього, підходи на основі машинного навчання (Machine Learning, ML) пропонують високоадаптивні рішення, що відповідають динамічним умовам мережі.

Як наслідок, протягом багатьох років були спроби адаптувати ML для AQM, що призвело до появи широкого спектру алгоритмів – від прогнозування перевантаження за допомогою контрольованого навчання до пошуку оптимальних політик відкидання пакетів за допомогою підкріплювального навчання [3].

Метою доповіді є аналіз сучасних методів активного управління чергами маршрутизаторів (AQM) у комп'ютерних мережах з акцентом на застосування підходів машинного навчання для підвищення ефективності контролю перевантажень, а також порівняння переваг та недоліків кожного розглянутого методу.

В доповіді представлено порівняльний аналіз класичних схем AQM (RED, CoDel, PIE), а також представлено огляд новітніх алгоритмів на основі методів нейронних мереж – від моделей контрольованого навчання до алгоритмів підкріплювального навчання (Reinforcement Learning, RL).

Доповідь спрямована на виявлення переваг, обмежень та потенційних напрямів подальшого розвитку методів ML-AQM для динамічних мережевих середовищ, зокрема в контексті усунення проблеми «bufferbloat» і забезпечення стабільної якості обслуговування (QoS) у високошвидкісних сучасних мережах.

Список літератури

1. W. Chen, Y. Li, and S. H. Yang, "An average queue weight parameterization in a network supporting TCP flows with RED," in Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on TuesM02 Networking, Sensing and Control, pp. 590–595, London, UK, April 2007..

2. Minsu Kim "DEEP REINFORCEMENT LEARNINGBASED ACTIVE QUEUE MANAGEMENT FOR IOT NETWORKS" in Yonsei University, the Republic of Korea, 2017

3. Mohammad Parsa, Mahmood Ahmadi ´ "Machine Learning Approaches for Active Queue Management: A Survey, Taxonomy, and Future Directions" ResearchGate, June 2024.

АНАЛІЗ АЛГОРИТМУ РОЮ ЧАСТОК ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ SDN-МЕРЕЖІ

Ярошевич Р.О., Коваленко А.А.
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Програмно-конфігуровані мережі (SDN) представляють собою сучасну архітектуру побудови комп'ютерних мереж, яка забезпечує централізоване управління мережною інфраструктурою через відокремлення площини управління від площини передачі даних. Ключовим елементом SDN-архітектури є контролери, які відповідають за прийняття рішень щодо маршрутизації трафіку та управління мережними пристроями. Однак зі зростанням масштабу мережі та обсягу трафіку виникає критична проблема оптимального розміщення контролерів.

Метою доповіді є пошук рішення щодо розміщення контролерів SDN з урахуванням масштабу мережі та обсягу трафіку.

Основним завданням є розташування контролерів для досягнення зниження затримки, енергоефективності, балансування навантаження та підвищення надійності. Важливо, що як число контролерів, так і їх розподіл повинні динамічно змінюватися відповідно до змін параметрів мережі. Загальна затримка між термінальними пристроями та контролерами повинна бути мінімальною для забезпечення швидкої взаємодії з комутаторами.

Для вирішення завдання мінімізації затримки при розміщенні контролерів SDN пропонується застосування алгоритму оптимізації рою часток PSO (Particle Swarm Optimization). В алгоритмі PSO кожен рій розглядається як набір можливих розміщень для різних контролерів, а мета оптимізації полягає в отриманні найкращого рою на основі функції придатності. Кожна частка представляє можливе рішення, а її позиція та швидкість оновлюються на основі положень та швидкостей інших часток у сукупності.

Алгоритм передбачає постійний контроль швидкості кожної частки та її зменшення при перевищенні порогу, що унеможливлює експоненційне зростання швидкостей. Ключовою перевагою PSO є його здатність швидко знаходити оптимальне рішення, навіть якщо проблема є нелінійною. Алгоритм характеризується простотою реалізації та невеликою кількістю параметрів, які потребують налаштування. Застосування PSO для розміщення SDN-контролерів дозволяє створити більш відмовостійку та ефективну мережеву інфраструктуру, здатну адаптуватися до динамічних умов експлуатації.

Список літератури

1. А. А. Коваленко, Р. О. Ярошевич, «Моделювання передтуманних обчислень для тактильного Інтернету», Вісник ВПІ, вип. 1, с. 65–73, Лют. 2024. – https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-172-1-65-73

COMPREHENSIVE CONGESTION CONTROL IN IP NETWORKS

Honcharenko B.M., Partyka S.O.
Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, Ukraine

In today's world, where digital services, cloud computing, and multimedia applications generate huge amounts of traffic, the efficient functioning of IP networks is critical for the stable operation of information systems. The constant growth in the number of users, devices, and the amount of data transferred increases the load on network resources [1,2].

The problem of congestion in IP networks affects the quality of service and the stability of network connections. It occurs when the volume of incoming traffic exceeds the bandwidth of communication channels or the computing capabilities of network nodes. In such cases, packets begin to accumulate in router buffers, which leads to increased latency and data loss. Over time, this can cause an avalanche-like deterioration in performance, when even a small increase in traffic causes a sharp drop in network throughput. Classical mechanisms, such as TCP window control, do not always have time to adapt to rapid changes in load, especially in environments with short flows or a large number of competitive connections. In addition, traditional router queues with fixed parameters do not take into account the nature of traffic, which leads to inefficient use of network resources [3].

The purpose of the report is compare modern approaches to comprehensive congestion control in IP networks, analyze their effectiveness in reducing delays, packet loss and increasing the stability of data transmission. Both classical methods of active queue management (AQM) and modern solutions based on adaptive control, software-defined networks (SDN) and machine learning are considered. Special attention is paid to their interaction and the possibility of integration into complex traffic management systems. It is shown that the combination of AQM mechanisms, intelligent routing and SDN-based control allows to significantly reduce the average queue length, reduce latency and improve bandwidth utilization compared to traditional methods.

A modified approach to congestion management is presented, which combines active queue management methods with adaptive machine learning models for dynamic parameter adjustment depending on the current network state. This approach allows to increase the efficiency of resource use and the stability of network connections in highly loaded environments.

References

1. Shahram Jamali, Mir Mahmoud Talebi, Reza Fotohi. *Congestion control in high-speed networks using the probabilistic estimation approach*, 2021.

2. Sounak Kar, Bastian Alt, Heinz Koeppl, Amr Rizk. *Optimal Decision Making in Active Queue Management*, 2022.

3. Céfric Join, Hugues Mounier, Emmanuel Delaleau, Michel Fliess. *Active queue management: First steps toward a new control-theoretic viewpoint*, 2022.

USING OF SPECIALIZED SOFTWARE IN THE DEVELOPMENT OF STANDARD OPERATING PROCEDURES FOR THE OPERATION OF THE LATEST MODELS OF EQUIPMENT

Koshmal M., Makohon H., Burak A.
Military Institute of Armored Forces of National Technical University "KhPI", Kharkiv, Ukraine
Marchenko O., Rudyi A., Boychuk B., Barzak O.
Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy "NAA", Lviv, Ukraine

A well-designed standard operating procedure (SOP) is an essential tool for ensuring consistency, efficiency, and quality in any area of activity. SOPs provide step-by-step instructions for performing specific tasks, guiding employees to adhere to best practices and maintain standards across all processes.

These circumstances are particularly important when mastering the latest models of technology, as they can guarantee their reliable operation, providing the key to success: clarity, conciseness, and ease of using.

The goal of the report is to analyze specialized software for creating, managing, and tracking the implementation of SOPs. These programs allow for centralized storage of SOPs, assignment of responsibilities, monitoring of implementation stages, granting access to specific users, and automation of processes, ensuring compliance with standards and efficiency of workflows. According to the authors, the key features to look for in SOP software are as follows:

− an intuitive and easy-to-navigate interface is important for user acceptance.

− the ability to adapt the software to the specific needs of your business; real-time editing and commenting can improve team collaboration;

− tracking changes and ensuring employee access to the latest procedures; tools for tracking usage, compliance, and other key metrics [1, 2].

Thus, *Sweetprocess* simplifies SOP and process documentation, making it ideal for small and medium-sized businesses. *Trainual* focuses on training and onboarding, providing tools for documenting every technological process when operating the latest equipment. *Kissflow s*oftware is a good choice for automating workflows and managing processes. *Guru* combines real-time collaboration, AI-powered suggestions, and seamless integration with tools such as *Slack* and *Microsoft Teams*. *Dozuki* is tailored for manufacturing and industrial environments, focusing on creating and managing work instructions [3, 4].

Moreover, when developing standardized operating procedures for the latest equipment, it is advisable to choose specialized software not only for budgetary reasons, but also for its potential scalability, updating, adaptation, and staff training.

References

1. Software for standard operating procedures. https://www.getguru.com/ru/reference/sop-software#klyuchevye-funkcii-na-kotorye-stoit-obratit-vnimanie-v-po-dlya-sop

2. Effectiveness of facilitated introduction of a standard operating procedure into routine processes in the operating theatre: a controlled interrupted time series / L. Morgan [et al.]. BMJ. Qual. Saf. 2015. Vol. 24, № 2. P. 120–127.http://dx.doi.org/10.1136/bmjqs-2014-003158

3. Hrastnik, Janez & Cardoso, Jorge & Kappe, Frank. (2007). The Business Process Knowledge Framework.. ICEIS 2007 - 9th International Conference on Enterprise Information Systems, Proc. 517-520. − https://www.researchgate.net/publication/220708877_The_Business_Process_Knowledge_Framework

4. Morgan, Lauren & Pickering, Sharon & Hadi, Mohammed & Robertson, Eleanor & New, Steve & Collins, Gary & Rivero-Arias, Oliver & Catchpole, Ken & McCulloch, Peter. (2014). A combined teamwork training and work standardisation intervention in operating theatres: Controlled interrupted time series study. BMJ quality & safety. 24. 10.1136/bmjqs-2014-003204.− http://dx.doi.org/10.1136/bmjqs-2014-003204

ДО ПИТАННЯ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ АВТОМОБІЛЯ НА ОСНОВІ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЇ

Щитина О.В., Чалапко В.В.
Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна
Марченко О.В., Дичко О.В., Лаврут О.О., Онищук О.С., Лаврут Т.В.
Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, Україна

Питання контролю за технічним станом транспортних засобів було актуальним з моменту їх появи. Сучасний розвиток інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) відкриває нові можливості для інтеграції цифрових рішень у різноманітні сфери людської діяльності. Оперативне управління станом транспортного засобу набуває особливого значення, адже недолуге технічне забезпечення може мати критичні наслідки [1].

ІКТ надають широкий спектр технологій і засобів, які забезпечують створення, зберігання, обробку, передачу та обмін інформацією в цифровій формі. Вони включають апаратні та програмні компоненти, телекомунікаційні системи, мережі (наприклад, Інтернет) і цифрові сервіси. Саме тому розробка системи моніторингу стану автомобіля, що базується на ІКТ, є надзвичайно актуальною. Інтеграція системи OBD (On-Board Diagnostics) в автомобілях спочатку почалася у цивільному секторі, але згодом ці рішення були адаптовані для потреб інших галузь. Військові машини у провідних арміях світу нині обладнуються сенсорними системами, які дозволяють виявляти несправності ще до їхнього впливу на функціональність техніки. Наприклад, у США розроблено програму Condition-Based Maintenance (CBM), яка базується на використанні даних у режимі реального часу для запобігання технічним зламам. Ця система дозволяє значно зменшити витрати на обслуговування, підвищити експлуатаційну готовність техніки і забезпечити безпеку виконання бойових завдань [2].

В Україні, з огляду на поточну ситуацію, інновації в галузі ІКТ стають надзвичайно важливими. Розробка сучасних систем моніторингу автомобілів на основі ІКТ може не лише підвищити ефективність використання

різноманітної техніки, але й забезпечити значний крок у зміцненні обороноздатності країни. Актуальність дослідження обумовлена кількома важливими чинниками.

- по-перше, традиційні методи діагностики та моніторингу часто базуються на періодичних перевірках, що не завжди дозволяє виявити потенційні несправності на ранніх стадіях;

- по-друге, застосування ІКТ, таких як сенсорні мережі, обробка даних у режимі реального часу та телекомунікаційні рішення, дає змогу створити інтегровану систему, здатну оперативно реагувати на зміни технічного стану автомобіля. Це сприяє своєчасному проведенню профілактичних заходів, підвищує експлуатаційну готовність техніки та забезпечує вищий рівень безпеки під час виконання бойових завдань [3].

Основною метою даної доповіді є розробка ефективної системи моніторингу стану сучасного автомобіля на основі сучасних ІКТ технологій.

Для досягнення поставленої мети було визначено наступні завдання:

- окреслити функціональні та нефункціональні вимоги до системи моніторингу з урахуванням специфіки експлуатації транспортних засобів;

- створити архітектурну концепцію, що включає вибір апаратного та програмного забезпечення, комунікаційних протоколів та алгоритмів обробки даних;

- розробити прототип системи, провести моделювання умов експлуатації та оцінити ефективність впроваджених рішень;

- проаналізувати практичну значущість розробленої системи для підвищення технічної готовності та безпеки техніки.

Методологічна база дослідження ґрунтується на комплексному застосуванні системного аналізу, моделювання, а також емпіричних методів, що дозволяє розглянути проблему моніторингу з різних ракурсів та забезпечити всебічну оцінку розроблюваної системи.

Практична значущість дослідження полягає у можливості впровадження розробленого рішення у військових підрозділах, що сприятиме адаптивному управлінню технічним станом автомобілів, зниженню ризику виникнення несправностей та оперативній реакції на аварійні ситуації.

Отже, інтеграція сучасних ІКТ у систему моніторингу стану автомобіля є важливим кроком на шляху підвищення ефективності та безпеки експлуатації техніки, що в подальшому може стати важливим кроком у зміцненні обороноздатності України.

Список літератури

1. Галіцин В. К. Системи моніторингу: Монографія. *К: КНЕУ*, 2000, 231 с.

2. Paar, Christof & Pelzl, Jan. (2010). The Advanced Encryption Standard (AES). 10.1007/978-3-642-04101-3_4.− http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-04101-3_4

3. Quatrini, Elena & Costantino, Francesco & Di Gravio, Giulio & Patriarca, Riccardo. (2020). Condition-Based Maintenance − An Extensive Literature Review. Machines. 8. 31. 10.3390/machines8020031. − http://dx.doi.org/10.3390/machines8020031

SIMULATING OF ELECTRICAL PARAMETERS OF A POWER SUPPLY WHEN USING NON-STANDARD STARTER BATTERIES

Makohon H., Lazorenko O., Krasnoshapka Yu.
Military Institute of Armored Forces of National Technical University "KhPI", Kharkiv, Ukraine
Shatalov O., Voitenko V., Boyko Z.
Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy "NAA", Lviv, Ukraine

The most important aspect in the operation of transport and technological machines is the control of battery (GB) parameters, as well as the diagnosis and prediction of their condition. The operation of GBs form the power source involves the widespread use of automation systems for the technological process of their operation.

When it is necessary to use non-standard batteries, the study of the power source parameters formed in such conditions becomes relevant.

The goal of the report is to provide a mathematical description of the relationship between the main parameters of rechargeable batteries for different operating modes.

. From the analysis of experimental data obtained for batteries of different manufacturers, it follows that to determine the remaining battery life, it is necessary to take into account not only the influence of external factors on its selected elements, but also the influence of previous operating modes.

Using basic computational theories for estimating battery parameters and based on the results of the analysis of the mathematical apparatus, an algorithm for parametric estimation of battery performance was developed, statistical series of density dynamics were obtained, and a distribution function was determined, which is characteristic of the Gaussian curve [1].

In the simulation model of the main operating modes when forming a power source from batteries of different manufacturers, the basic parameters of battery charge, discharge and storage mode are taken as [2,3].

References

1. Tremblay, O.; Dessaint, L.-A.; Dekkiche, A.-I., A Generic Battery Model for the Dynamic Simulation of Hybrid Electric Vehicles, Vehicle Power and Propulsion Conference, 2007. VPPC 2007. IEEE, pp. 284–289, 9–12 Sept. 2007.

2. Zhu, C., X. Li, L. Song, and L. Xiang, "Development of a theoretically based thermal model for lithium ion battery pack". Journal of Power Sources. Vol. 223, pp. 155–164.

3. Saw, L.H., K. Somasundaram, Y. Ye, and A.A.O. Tay, "Electro-thermal analysis of Lithium Iron Phosphate battery for electric vehicles". Journal of Power Sources. Vol. 249, pp. 231–238.

SOFTWARE AND HARDWARE IMPLEMENTATION OF AUTOMATED PRE-START CONTROL OF THE ELECTRIC START SYSTEM OF MODERN INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Makohon H., Koshmal V.
Military Institute of Armored Forces of National Technical University "KhPI",
Kharkiv, Ukraine
Trush O., Melnik I., Mishchenko Ya., Sharmin V.
Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy "NAA",
Lviv, Ukraine

Due to the rapid development of vehicle electrical systems, the issue of organization and technology of their repair has become significantly more complicated, especially in field conditions.

The report considers the method for constructing an algorithm for searching for faults in the electric starting system of modern internal combustion engines based on compiling a fault function table (FFT) and converting it into a minimized fault function table (MFTT), which is the most effective and, given the possibility of its software implementation on a microcontroller, the most promising to date [1].

Having analyzed various methods of minimizing Boolean functions, the question of software implementation of the Quine and Quine-McCluskey methods remains interesting.

Therefore, it is extremely important to first determine the tools for the work. The C++ programming language was chosen, because it is considered one of the best programming languages for solving algorithmic problems [2,3].

The proposed software implementation of the Quine-McCluskey method has shown the correctness of its use in minimizing Boolean functions. The simplicity of the algorithm allows its technical implementation using computer technology.

The use of this method allows reducing the requirements for software and hardware for automated pre-start control of the power supply system of internal combustion engines of modern vehicles.

References

1. Kondratenko N. R. Computer Workshop on Mathematical Logic: A Textbook. Vinnitsa: VNTU, 2010. 117 p.

2. Applied Theory of Digital Machines / K.G. Samofalov, A.M. Romankevich, V.N. Valuezky, J.S. Kanevsky, M.M. Pinevych. K.: Higher school. The main ed., 1987. 375 p.

3. C++. Containers. std::vector. web-сайт: cppreference.com URL: https://ru.cppreference.com/w/cpp/container/vector.

ЗАСТОСУВАННЯ КОРЕЛЯЦІЙНОГО ТА ФАКТОРНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОЦІНКИ СТАНУ МІСЦЕВОСТІ ПІД ЧАС ПЛАНУВАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ГАЛУЗЕВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Заверуха Г.В., Макогон О.А., Музичак А.З., Сергєєв О.С.
Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"

Традиційно, аналіз стану місцевості під час планування та організації господарської діяльності будь-якої галузі проводився здебільшого спираючись на досвід та інтуїцію керівника, практично не враховуючи взаємовплив характеристик, що визначають місцевості (районів з критичною крутизною схилів земної поверхні, зон видимості, щільності дорожньої мережі шляхів різних класів тощо), оскільки їх визначення вручну за паперовою топографічною картою потребує значних часових витрат, яких у керівника, як правило, немає.

Як результат – приблизне визначення меж ділянок з відповідними властивостями на місцевості і похибка, яка може призвести до невиконання поставлених завдань [1].

Метою доповіді є застосування методологічного апарату методу кореляційного та факторного аналізу для вдосконалення методики оцінки тактичних властивостей району ведення галузевої діяльності.

Авторами визначена формалізована множина даних щодо стану місцевості, зокрема фізико-географічних умов та економіко-географічних особливостей району відповідно виду діяльності.

Шляхом експертного оцінювання та обробки його результатів згідно методу попарних порівнянь були отримані факторні навантаження елементів цих множин та кореляційна матриця їх взаємних впливів [2].

Загальна оцінки стану місцевості під час планування та організації галузевої діяльності визначена за формулою повної ймовірність впливу фізико-географічних умов та економіко-географічних особливостей району відповідно виду діяльності.

Список літератури

1. Міхно О.Г. Геоінформаційний аналіз тактичних властивостей місцевості / О.Г. Міхно, В.І. Хірх-Ялан. / Вісник геодезії та картографії. –К., 2012. – № 5. – С. 38–43.

2. Хірх-Ялан В.І. Метод аналізу ієрархій для оцінки пріоритетності показників стану місцевості в районі відповідальності для прийняття рішення на розміщення підрозділу / Зб. наук. пр. ВІКНУ. – К., 2012. – № 39. – С. 353–359.

.

ТЕОРЕТИЧНЕ ПІДГРУНТЯ ВИКОРИСТАННЯ ЛАНЦЮГІВ МАРКОВА ТА ГРАФУ СТАНІВ ДЛЯ РОЗРОБЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТУ ЛОГІСТИЧНОГО КОНТРОЛІНГУ

Слепіч О.С., Макогон О.А. Серпухов О.В.
Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна
Мотишена А.В., Богуцький С.М., Колесник В.О.
Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, Україна

Логістичний контролінг дозволяє виявляти слабкі місця, такі як затримки в постачанні чи повільне відновлення ресурсів, за допомогою статистичних методів. Показники надійності, зокрема коефіцієнт відновлення та живучості є основою для підвищення надійності системи логістичного забезпечення (ЛЗ) в цілому.

Метою доповіді є розробка моделі логістичного забезпечення, що дозволяє отримувати кількісні оцінки надійності її функціонування. Для дослідження надійності роботи всієї логістичної системи або її окремих компонентів в доповіді пропонується використовувати математичний апарат теорії масового обслуговування. Такі характеристики ланцюга Маркова як безповоротність, ергодичність, поглинаючість дозволяє використовувати його для дослідження і контролінгу організаційно-технічних систем проектного управління, зокрема ЛЗ різного рівня ієрархії та функціонального змісту[1].

Отже, систему ЛЗ доцільно представити у вигляді простого графа переходів з відповідними інтенсивністю та ймовірністю у типових умовах застосування цієї системи за призначенням. Параметри математичної моделі, що відповідає графу станів системи ЛЗ можуть бути визначені за статистичними даними і в подальшому використовуватися для контролінгу та оптимізації її функціонування.

Динамічний аналіз дає можливість досліджувати стан системи у часі як покроково так і у граничному періоді [2, 3].

Список літератури

1. Максимова М.В. Теоретичні підходи до визначення сутності поняття "контролінг" у банківській діяльності / М.В. Максимова [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://fkd.khibs.edu.ua/pdf/2012_2/6.pdf

2. Таха Х. А. Введение в исследование операций / Х. А. Таха. – М. : Вильямс, 2005. – 912 с.

3. Баранов Ю., Баранов А., Кузьмичев А. Вибір та обґрунтування показників оцінки ефективності функціонування системи логістичного забезпечення. *Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України*. 2019. Том 81. № 3. pp. 291-301. DOI: https://doi.org/10.32453/3.v81i3.477.

УЧАСНИКИ КОНФЕРЕНЦІЇ (секції 1, 2)

ОРГАНІЗАЦІЇ, ЯКІ ПРИЙНЯЛИ УЧАСТЬ У КОНФЕРЕНЦІЇ

Академія Державної прикордонної служби Республіки Азербайджан, Баку, Азербайджан

Азербайджанська академія спорту, Баку, Азербайджан

Азербайджанський технічний університет, Баку, Азербайджан

Азербайджанський університет будівництва та архітектури, Баку, Азербайджан

Бакинський державний університет, Баку, Азербайджан

Військовий науково-дослідний інститут, Баку, Азербайджан

Військовий інститут імені Гейдара Алієва, Баку, Азербайджан

Військовий інститут танкових військ НТУ "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна

Військово-морські сили Азербайджану, Баку, Азербайджан

Державний біотехнологічний університет, Харків, Україна

Державний університет "Київський авіаційний інститут", Київ, Україна

Інститут освіти Азербайджанської Республіки, Баку, Азербайджан

Інститут систем управління Азербайджанської Національної академії наук, Баку, Азербайджан

Ленкоранський державний університет, Ленкорань, Азербайджан

Нахічеванський державний університет, Нахічевань, Азербайджан

Національна авіаційна академія, Баку, Азербайджан

Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, Україна

Національне аерокосмічне агентство, Баку, Азербайджан

Національний аерокосмічний університет "Харківський авіаційний інститут", Харків, Україна

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна

Національний університет оборони Азербайджанської республіки, Баку, Азербайджан

Національний університет "Одеська політехніка", Одеса, Україна

Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

Педагогічний університет імені Комісії Національної Освіти, Краків, Польща

Празький університет економіки та бізнесу, Прага, Чехія

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Дніпро, Україна

Сумгаїтський державний університет, Сумгаїт, Азербайджан

ТОВ «AMS», Харків, Україна

Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», Харків, Україна

Університет технології і гуманітарних наук, Бельсько-Бяла, Польща

Управління метрології та стандартизації, Київ, Україна

Фаховий коледж інформаційних технологій НУ "Львівська політехніка", Львів, Україна

Харківський національний університет внутрішніх справ, Харків, Україна

Харківський національний економічний університет ім. Саймона Кузнеця, Харків, Україна

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, Україна

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

Харківський радіотехнічний фаховий коледж, Харків, Україна

ЗМІСТ

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ПРОБЛЕМИ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ

Тези доповідей
тринадцятої міжнародної науково-технічної конференції
(27 – 28 листопада 2025 року)
Том 1: секції 1, 2

Відповідальна за випуск *Н. Г. Кучук*
Технічний редактор *І. А. Лєбедева*
Коректор *В. В. Богомаз*
Комп'ютерне складання та верстання *Н. Г. Кучук, І. Ю. Петровська*

Адреса оргкомітету: вул. Кирпичова, 2, Харків, 61002, Україна
НТУ «ХПІ», Вечірній корпус, кімната 314
тел. +38 (057) 707 61 65

Підписано до друку 20.11.2025 Формат 60 × 84/16
Ум.-вид. арк. 8,5. Тираж 100 пр. Зам. 1120-25/1

Віддруковано з готових оригінал-макетів у цифровій друкарні Impress
61002, м. Харків, вул. Пушкінська, 56, тел. **+ 38 (057) 714-52-11**
e-mail: **irina@impress.biz.ua**