

ABSTRACT AND REFERENCES

INFORMATION AND CONTROLLING SYSTEM

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326561

OPTIMIZATION OF BORDER GATEWAY ROUTING PROTOCOL WITH LAGRANGE MULTIPLIER AND GRADIENT DESCENT INTEGRATION FOR NETWORK (p. 6–13)

Ferry Fachrizal

Politeknik Negeri Medan, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2489-6144>

Okvi Nugroho

Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Glugur Darat II, Kec. Medan Tim., Kota Medan, Sumatera Utara, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6156-3338>

Al-khowarizmi

Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Glugur Darat II, Kec. Medan Tim., Kota Medan, Sumatera Utara, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4401-9999>

This study has a research object, namely data transmission lines. In this study, there are problems that must be solved related to the optimization of network transmission routes that are dynamic and adaptive to changes in real-time conditions, including latency factors, connection stability, and algorithm integration that can accommodate large-scale network needs efficiently in terms of transmission. The results obtained from this study are in the form of a model that can identify route management and optimize the border gateway protocol. The results of the study show that the application of this method can optimize the transmission path by considering network constraints and real-time condition dynamics. This study has an interpretation that the proposed model is proven to be effective in improving network performance, with increased efficiency, reduced constraints, and the ability to adapt to changes in network conditions. This is evidenced by the accuracy in the form of quantitative effectiveness by producing 95 % accuracy with the Reinforcement Learning model, able to significantly increase efficiency and accuracy compared to traditional methods in BGP routing optimization. The characteristics contained in this study include the ability to manage and identify transmission routes to improve network efficiency, reduce latency, increase throughput, minimize the number of hops in managing BGP transmission routes. There are limitations related to input data processing that require deeper annotation. This study contributes to BGP route optimization with machine learning algorithms that can be applied in complex and dynamic networks.

Keywords: BGP, connection stability, routing, machine learning, Lagrange multiplier, gradient descent.

References

- Shahid, K., Ahmad, S. N., Rizvi, S. T. H. (2024). Optimizing Network Performance: A Comparative Analysis of EIGRP, OSPF, and BGP in IPv6-Based Load-Sharing and Link-Failover Systems. *Future Internet*, 16 (9), 339. <https://doi.org/10.3390/fi16090339>
- Mastilak, L., Helebrandt, P., Galinski, M., Kotuliak, I. (2022). Secure Inter-Domain Routing Based on Blockchain: A Comprehensive Survey. *Sensors*, 22 (4), 1437. <https://doi.org/10.3390/s22041437>
- Scott, B. A., Johnstone, M. N., Szweczyk, P. (2024). A Survey of Advanced Border Gateway Protocol Attack Detection Techniques. *Sensors*, 24 (19), 6414. <https://doi.org/10.3390/s24196414>
- Djenna, A., Harous, S., Saidouni, D. E. (2021). Internet of Things Meet Internet of Threats: New Concern Cyber Security Issues of Critical Cyber Infrastructure. *Applied Sciences*, 11 (10), 4580. <https://doi.org/10.3390/app11104580>
- Romo-Chavero, M. A., Cantoral-Ceballos, J. A., Pérez-Díaz, J. A., Martinez-Cagnazzo, C. (2024). Median Absolute Deviation for BGP Anomaly Detection. *Future Internet*, 16 (5), 146. <https://doi.org/10.3390/fi16050146>
- Gupta, C., Johri, I., Srinivasan, K., Hu, Y.-C., Qaisar, S. M., Huang, K. Y. (2022). A Systematic Review on Machine Learning and Deep Learning Models for Electronic Information Security in Mobile Networks. *Sensors*, 22 (5), 2017. <https://doi.org/10.3390/s22052017>
- Rahmani, A. M., Gia, T. N., Negash, B., Anzanpour, A., Azimi, I., Jiang, M., Liljeberg, P. (2018). Exploiting smart e-Health gateways at the edge of healthcare Internet-of-Things: A fog computing approach. *Future Generation Computer Systems*, 78, 641–658. <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.02.014>
- Wu, Y., Wu, Y., Guerrero, J. M., Vasquez, J. C. (2021). A comprehensive overview of framework for developing sustainable energy internet: From things-based energy network to services-based management system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150, 111409. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111409>
- Zhao, X., Band, S. S., Elnaffar, S., Sookhak, M., Mosavi, A., Salwana, E. (2021). The Implementation of Border Gateway Protocol Using Software-Defined Networks: A Systematic Literature Review. *IEEE Access*, 9, 112596–112606. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3103241>
- Weitz, K., Woos, D., Torlak, E., Ernst, M. D., Krishnamurthy, A., Tatlock, Z. (2016). Scalable verification of border gateway protocol configurations with an SMT solver. *Proceedings of the 2016 ACM SIGPLAN International Conference on Object-Oriented Programming, Systems, Languages, and Applications*, 765–780. <https://doi.org/10.1145/2983990.2984012>
- Sharma, S., Kang, D. H., Montes de Oca, J. R., Mudgal, A. (2021). Machine learning methods for commercial vehicle wait time prediction at a border crossing. *Research in Transportation Economics*, 89, 101034. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2021.101034>
- Koyuncu, H., Tomar, G. S., Sharma, D. (2020). A New Energy Efficient Multitier Deterministic Energy-Efficient Clustering Routing Protocol for Wireless Sensor Networks. *Symmetry*, 12 (5), 837. <https://doi.org/10.3390/sym12050837>
- Shah, P., Kasbe, T. (2021). A review on specification evaluation of broadcasting routing protocols in VANET. *Computer Science Review*, 41, 100418. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2021.100418>
- Krisnawijaya, N. N. K., Paramartha, C. R. A. (2016). Penerapan jaringan multihoming pada jaringan komputer fakultas hukum. *ILMU KOMPUTER*, 9 (1), 23–31.
- Zhou, Q., Pezaros, D. (2020). A Prediction-Based Model for Consistent Adaptive Routing in Back-Bone Networks at Extreme Situations. *Electronics*, 9 (12), 2146. <https://doi.org/10.3390/electronics9122146>
- Dai, B., Cao, Y., Wu, Z., Dai, Z., Yao, R., Xu, Y. (2021). Routing optimization meets Machine Intelligence: A perspective for the future network. *Neurocomputing*, 459, 44–58. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2021.06.093>
- Song, Y., Liu, Z., Li, K., He, X., Zhu, W. (2024). Research on High-Efficiency Routing Protocols for HWSNs Based on Deep Reinforcement Learning. *Electronics*, 13 (23), 4746. <https://doi.org/10.3390/electronics13234746>
- Dafhalla, A. K. Y., Elobaid, M. E., Tayfour Ahmed, A. E., Filali, A., SidAhmed, N. M. O., Attia, T. A. et al. (2025). Computer-Aided Efficient Routing and Reliable Protocol Optimization for Autonomous Vehicle Communication Networks. *Computers*, 14 (1), 13. <https://doi.org/10.3390/computers14010013>

19. Cosovic, M., Obradovic, S., Junuz, E. (2018). Deep Learning for Detection of BGP Anomalies. *Time Series Analysis and Forecasting*, 95–113. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96944-2_7
20. Jabbar, W. A., Ismail, M., Nordin, R., Arif, S. (2016). Power-efficient routing schemes for MANETs: a survey and open issues. *Wireless Networks*, 23 (6), 1917–1952. <https://doi.org/10.1007/s11276-016-1263-6>
21. Fronza, I., Sillitti, A., Succi, G., Terho, M., Vlasenko, J. (2013). Failure prediction based on log files using Random Indexing and Support Vector Machines. *Journal of Systems and Software*, 86 (1), 2–11. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2012.06.025>
22. Avgerinou, M., Bertoldi, P., Castellazzi, L. (2017). Trends in Data Centre Energy Consumption under the European Code of Conduct for Data Centre Energy Efficiency. *Energies*, 10 (10), 1470. <https://doi.org/10.3390/en10101470>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326222

DEVISING A METHOD FOR DETECTING AND CORRECTING MULTI-BIT DATA TRANSMISSION ERRORS IN IOT SYSTEMS BASED ON THE GOLAY CODE (p. 14–23)

Vladyslav Sokolovskiy

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2381-3373>

Eduard Zharikov

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1811-9336>

Sergii Telenyk

Cracow University of Technology, Kraków, Poland
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9202-9406>

Grzegorz Nowakowski

Cracow University of Technology, Kraków, Poland
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3086-0947>

Svitlana Poperehnyak

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0531-9809>

Mykhailo Marynenko

O'Shaughnessy Ventures, 400, Los Angeles, California, United States
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3745-233X>

The object of this study is information systems within the Internet of Things.

The task addressed involves devising an innovative method for detecting and correcting multi-bit data transmission errors in the Internet of Things networks based on Golay codes.

As the main result of the research, a method has been devised for detecting and correcting multi-bit data transmission errors based on Golay codes during byte-by-byte transmission of an information block.

The method devised is distinguished by its coding scheme, which involves calculating 11 control bits and one parity bit for twelve bytes of the original information message with subsequent mixing using shift operations before transmission to the communication channel.

Thus, for twelve bytes of input information, an information block of 24 bytes is formed at the output of the encoder, and the bits of the bytes belong to eight different code words of the extended Golay code (24, 12).

When transmitting an information block, one or more bits of the transmitted byte may be distorted. But after performing the shift operations on the receiving side, the reverse of those performed before trans-

mission, it becomes possible to detect and correct transmission errors using Golay code decoding methods. The transmission errors of a single byte that are subject to detection and correction can reach eight. This is possible because all the bits of a byte transmitted over a communication channel belong to different combinations of the Golay code – each separate combination is formed by bits of different bytes that have the same numbers.

Due to the fact that an information message of 24 bytes consists of eight code combinations of the Golay code (24, 12), it is possible to correct up to 24 bit errors in one message of 24 bytes.

Keywords: software engineering, correction codes, Golay codes, Internet of Things, information system, information block.

References

1. Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, 27 (4), 623–656. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb00917.x>
2. Bortos, M., Tylyshchak, A., Khymynets, M. (2024). Extended binary Golay codes by a group algebra. *Algebra and Discrete Mathematics*, 38 (1), 23–33. <https://doi.org/10.12958/adm2241>
3. Bychkov, V. E., Mrachkovsky, O. D., Pravda, V. I. (2008). Correlation properties of Golay sequences. *Visnyk NTUU KPI Seriya - Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, 37, 28–30. Available at: <https://radap.kpi.ua/radiotechnique/article/view/552/0?articlesBySameAuthorPage=3>
4. Shishkin, A. V. (2010). Sindromnyy metod formirovaniya cifrovyyh vodyanyh znakov i steganograficheskoy peredachi s ispol'zovaniem dopolnitel'noy informacii o nositele. *Izvestiya Vysshih Uchebnyh Zavedeniy. Radioelektronika*, 53 (1), 12–19. <https://doi.org/10.20535/s0021347010010024>
5. Shiriaev, P. M. (2015). Comparison of the binary golay code with the algebro-geometric code. *Prikladnaya diskretnaya matematika*, 30 (4), 77–82. <https://doi.org/10.17223/20710410/30/7>
6. Khebbou, D., Chana, I., Ben-Azza, H. (2023). Decoding of the extended Golay code by the simplified successive-cancellation list decoder adapted to multi-kernel polar codes. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 21 (3), 477. <https://doi.org/10.12928/telkomnika.v21i3.23360>
7. Reed, I. S., Yin, X., Truong, T. K., Holmes, J. K. (1990). Decoding the (24,12,8) Golay code. *IEEE Proceedings E Computers and Digital Techniques*, 137 (3), 202. <https://doi.org/10.1049/ip-e.1990.0025>
8. Bioglio, V., Land, I. (2018). Polar-Code Construction of Golay Codes. *IEEE Communications Letters*, 22 (3), 466–469. <https://doi.org/10.1109/lcomm.2018.2793273>
9. Honary, B., Markarian, G. (1993). New simple encoder and trellis decoder for Golay codes. *Electronics Letters*, 29 (25), 2170–2171. <https://doi.org/10.1049/el:19931456>
10. Reviriego, P., Liu, S., Xiao, L., Maestro, J. A. (2016). An Efficient Single and Double-Adjacent Error Correcting Parallel Decoder for the (24,12) Extended Golay Code. *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, 24 (4), 1603–1606. <https://doi.org/10.1109/tvlsi.2015.2465846>
11. Sokolovskiy, V., Zharikov, E., Telenyk, S. (2024). Development of the method of detecting and correcting data transmission errors in IoT systems for monitoring the state of objects. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (9 (127)), 22–33. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298476>
12. Golay, M. E. (1949). Notes on Digital Coding. *Proceedings of the IRE*.
13. Sridevi, N., Jamal, K., Mannem, K. (2021). Implementation of Error Correction Techniques in Memory Applications. 2021 5th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC), 586–595. <https://doi.org/10.1109/iccmc51019.2021.9418432>
14. Saiz-Adalid, L.-J., Gil, P., Ruiz, J.-C., Gracia-Moran, J., Gil-Tomas, D., Baraza-Calvo, J.-C. (2016). Ultrafast Error Correction Codes for Double Error Detection/Correction. 2016 12th European Dependable

Computing Conference (EDCC), 108–119. <https://doi.org/10.1109/edcc.2016.28>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326040

DEVISING A METHOD FOR STABILIZING CONTROL OVER A LOAD ON A CLUSTER GATEWAY IN THE INTERNET OF THINGS EDGE LAYER (p. 24–32)

Heorhii Kuchuk

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute",
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2862-438X>

Oleksandr Mozhaiev

Kharkiv National University of Internal Affairs, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1412-2696>

Serhii Tiulieniev

National Scientific Center "Hon. Prof. M.S. Bokarius Forensic
Science Institute", Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9685-1536>

Mykhailo Mozhaiev

Scientific Research Center for Forensic Expertise in the Field of
Information Technologies and Intellectual Property of the Ministry
of Justice of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1566-9260>

Nina Kuchuk

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute",
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0784-1465>

Liliia Tymoshchyk

Scientific Research Center for Forensic Expertise in the Field of
Information Technologies and Intellectual Property of the Ministry
of Justice of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7695-2169>

Andrii Lubentsov

Scientific Research Center for Forensic Expertise in the Field of
Information Technologies and Intellectual Property of the Ministry
of Justice of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1419-6433>

Yurii Gnusov

Kharkiv National University of Internal Affairs,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9017-9635>

Sergii Klivets

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8109-0639>

Alexander Kuleshov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8223-3814>

The object of this study is the process of managing overload at the boundary layer of the geographically distributed Internet of Things.

The task addressed is reducing the number of losses of information packets of the geographically distributed Internet of Things arriving at the boundary layer gateway. For this purpose, it was proposed to use fast temporal horizontal scaling and stabilizing control over the load formed in the gateway buffer.

In the process of conducting research, a temporal horizontal scaling algorithm was developed for the boundary layer cluster gateway. The evolutionary Firefly Algorithm with a fitness function based on the Lorenz function was used in the development. This made it pos-

sible to speed up the search for a cluster node for operational temporal scaling of the gateway for the period of gateway buffer overload.

The standard algorithm for intelligent queue management has been modified. The modification is based on the proposed method for stabilizing load control over the boundary layer cluster gateway of the geographically distributed Internet of Things. The method takes into account the features of the boundary layer architecture. The proposed method made it possible, in case of reaching the upper threshold of the queue, to scale the gateway until its buffer is filled. As a result, the number of information packet losses arriving at the boundary layer gateway was reduced. Studies of the proposed method showed that the number of information packet losses is reduced compared to existing methods. The research results can be explained by the use of temporary horizontal scaling of the gateway and fixing the thresholds of the information packet queue buffer. The method is effective at an average load level on the cluster gateway from 0.2 to 1.2.

Keywords: Internet of Things, stabilizing control, information packet, buffer overload, boundary calculations.

References

- Gamboa, A., Villazón, A., Meneses, A., Ormachea, O., Orellana, R. (2024). Altitude's Impact on Photovoltaic Efficiency: An IoT-Enabled Geographically Distributed Remote Laboratory. *Smart Technologies for a Sustainable Future*, 133–144. https://doi.org/10.1007/978-3-031-61905-2_14
- Singh, S. P., Kumar, N., Kumar, G., Balusamy, B., Bashir, A. K., Dabel, M. M. A. (2025). Enhancing Quality of Service in IoT-WSN through Edge-Enabled Multi-Objective Optimization. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 1–1. <https://doi.org/10.1109/tce.2025.3526992>
- Yan, M. (2024). Receive wireless sensor data through IoT gateway using web client based on border gateway protocol. *Heliyon*, 10 (11), e31625. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31625>
- Kuchuk, N., Kashkevich, S., Radchenko, V., Andrusenko, Y., Kuchuk, H. (2024). Applying edge computing in the execution IoT operative transactions. *Advanced Information Systems*, 8 (4), 49–59. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.4.07>
- Kuchuk, H., & Malokhvii, E. (2024). Integration of IoT with cloud, fog, and edge computing: a review. *Advanced Information Systems*, 8 (2), 65–78. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.2.08>
- Alwakeel, A. M. (2021). An Overview of Fog Computing and Edge Computing Security and Privacy Issues. *Sensors*, 21 (24), 8226. <https://doi.org/10.3390/s21248226>
- Naveen, S., Kounte, M. R., Ahmed, M. R. (2021). Low Latency Deep Learning Inference Model for Distributed Intelligent IoT Edge Clusters. *IEEE Access*, 9, 160607–160621. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3131396>
- Hao, L., Naik, V., Schulzrinne, H. (2022). DBAC: Directory-Based Access Control for Geographically Distributed IoT Systems. *IEEE INFOCOM 2022 - IEEE Conference on Computer Communications*, 360–369. <https://doi.org/10.1109/infocom48880.2022.9796804>
- Samir, A., Dagenborg, H. (2023). Adaptive Controller to Identify Misconfigurations and Optimize the Performance of Kubernetes Clusters and IoT Edge Devices. *Service-Oriented and Cloud Computing*, 170–187. https://doi.org/10.1007/978-3-031-46235-1_11
- Cui, H., Tang, Z., Lou, J., Jia, W. (2023). Online Container Scheduling for Low-Latency IoT Services in Edge Cluster Upgrade: A Reinforcement Learning Approach. *2023 IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/iccc57788.2023.10233668>
- Kuchuk, H., Mozhaiev, O., Kuchuk, N., Tiulieniev, S., Mozhaiev, M., Gnusov, Y. et al. (2024). Devising a method for the virtual clustering of the Internet of Things edge environment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (9 (127)), 60–71. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298431>

12. Vaiyapuri, T., Parvathy, V. S., Manikandan, V., Krishnaraj, N., Gupta, D., Shankar, K. (2021). A Novel Hybrid Optimization for Cluster-Based Routing Protocol in Information-Centric Wireless Sensor Networks for IoT Based Mobile Edge Computing. *Wireless Personal Communications*, 127 (1), 39–62. <https://doi.org/10.1007/s11277-021-08088-w>
13. Azimi, S., Pahl, C., Shirvani, M. (2020). Particle Swarm Optimization for Performance Management in Multi-cluster IoT Edge Architectures. *Proceedings of the 10th International Conference on Cloud Computing and Services Science*. <https://doi.org/10.5220/0009391203280337>
14. Kuchuk, H., Kalinin, Y., Dotsenko, N., Chumachenko, I., Pakhomov, Y. (2024). Decomposition of integrated high-density IoT data flow. *Advanced Information Systems*, 8 (3), 77–84. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.3.09>
15. Kuch Kuchuk, H., Husieva, Y., Novoselov, S., Lysytsia, D., Krykhovetskyi, H. (2025). Load balancing of the layers IoT fog-cloud support network. *Advanced Information Systems*, 9 (1), 91–98. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2025.1.11>
16. Hunko, M., Tkachov, V., Kovalenko, A., Kuchuk, H. (2023). Advantages of Fog Computing: A Comparative Analysis with Cloud Computing for Enhanced Edge Computing Capabilities. *2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. <https://doi.org/10.1109/khpiweek61412.2023.10312948>
17. Simaiya, S., Shrivastava, A., Keer, N. P. (2014). IRED Algorithm for Improvement in Performance of Mobile Ad Hoc Networks. *2014 Fourth International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, 283–287. <https://doi.org/10.1109/csnt.2014.62>
18. Qasim, M., Sajid, M. (2024). An efficient IoT task scheduling algorithm in cloud environment using modified Firefly algorithm. *International Journal of Information Technology*, 17 (1), 179–188. <https://doi.org/10.1007/s41870-024-01758-5>
19. Li, J., Zhou, T. (2024). Data-Driven Fully Distributed Load Frequency Control for an IoT-Based Interconnected Grid Considering a Performance-Based Frequency Regulation Market. *IEEE Internet of Things Journal*, 11 (17), 28692–28704. <https://doi.org/10.1109/jiot.2024.3402274>
20. Petrovska, I., Kuchuk, H., Kuchuk, N., Mozhaiev, O., Pochebut, M., Onishchenko, Y. (2023). Sequential Series-Based Prediction Model in Adaptive Cloud Resource Allocation for Data Processing and Security. *2023 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/dessert61349.2023.10416496>
21. Carvalho, D., Sullivan, D., Almeida, R., Caminha, C. (2022). A Machine Learning Approach to Solve the Network Overload Problem Caused by IoT Devices Spatially Tracked Indoors. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 11 (2), 29. <https://doi.org/10.3390/jsan11020029>
22. Sobchuk, V., Pykhivskyi, R., Barabash, O., Korotin, S., Omarov, S. (2024). Sequential intrusion detection system for zero-trust cyber defense of IOT/IIOT networks. *Advanced Information Systems*, 8 (3), 92–99. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.3.11>
23. Sundaram Paulraj, S. S., Kannabiran, V. (2024). Neuro-fuzzy-based cluster formation scheme for energy-efficient data routing in IOT-enabled WSN. *International Journal of Communication Systems*, 38 (3). <https://doi.org/10.1002/dac.5984>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326094

DETERMINING THE POTENTIAL NOISE IMMUNITY OF SEPARATION-DEMODULATION OF TWO INTERMITTENT MUTUALLY NON-ORTHOGONAL SIGNALS BY BINARY PHASE-SHIFT KEYING (p. 33–40)

Oleksandr Vakulenko

Institute of Special Communications and Information Protection of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
 ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8349-1410>

Viktor Yerokhin

Institute of Special Communications and Information Protection of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7194-8577>

The growth in the number of mobile users of electronic communications services leads to the exhaustion of the radio frequency resource, which has made it urgent to find ways to reuse it. The use of methods from the modern theory of multi-user detection allows simultaneous transmission of a certain number of mutually non-orthogonal signals with different power in a common channel resource. These methods provide for the possibility of algorithms development for detecting and separating two digital signals in the processes of information transmission in radio channels with mutually non-orthogonal digital signals, which are the object of this study. Here, we propose a solution to the problem of determining the potential noise immunity of separation-demodulation of two mutually non-orthogonal BPSK signals, which involves taking into account the intermittency of their radiation. For this purpose, the results of the synthesis of the algorithm for detecting-separating two mutually non-orthogonal intermittent BPSK signals, optimal according to the criterion of minimum probability of error in estimating their discrete information parameters, have been used as initial data. This criterion is a necessary condition for solving this problem. The characteristic differences of the represented methodology for analyzing potential interference immunity are the absence of restrictions on the energy characteristics of signals, the degree of their non-orthogonality, and the probability of radiation.

The results allow developers to determine in practice the minimum required differences in the instantaneous signal powers in order to achieve maximum energy efficiency of radio channels under the given requirements for the error probability. In particular, it has been shown that the difference in such powers should reach at least 5÷6 dB in the case when both signals are emitted continuously, and with optimal detection and separation of intermittent signals, this difference increases to 9÷10 dB, depending on the degree of mutual non-orthogonality between the signals.

Keywords: multi-user detection, mutually non-orthogonal digital signals, discrete parameter, potential noise immunity.

References

1. Honig, M., Madhow, U., Verdu, S. (1995). Blind adaptive multiuser detection. *IEEE Transactions on Information Theory*, 41 (4), 944–960. <https://doi.org/10.1109/18.391241>
2. Verdú, S. (1997). Demodulation in the Presence of Multiuser Interference: Progress and Misconceptions. *Intelligent Methods in Signal Processing and Communications*, 15–45. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2018-3_2
3. Verdu, S. (1998). Multiuser detection. New York: Cambridge University Press, 451.
4. Honig, M. L. (Ed.) (2008). *Advances in Multiuser Detection*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470473818>
5. Guo, D., Shamai, S., Verdu, S. (2005). Mutual Information and Minimum Mean-Square Error in Gaussian Channels. *IEEE Transactions on Information Theory*, 51 (4), 1261–1282. <https://doi.org/10.1109/tit.2005.844072>
6. Jain, A., Kulkarni, S. R., Verdu, S. (2011). Energy Efficiency of Decode-and-Forward for Wideband Wireless Multicasting. *IEEE Transactions on Information Theory*, 57 (12), 7695–7713. <https://doi.org/10.1109/tit.2011.2170120>
7. Bamsaye, A. J., Ogidan, O. K., Osalope, B. (2011). The Behaviour of Vertical Bell Laboratories Layered Space-Time Algorithm Combined with Multiuser Detection Schemes in Wireless Communication System. *Communications and Network*, 03 (02), 51–56. <https://doi.org/10.4236/cn.2011.32007>

8. Yang, Z., Xu, W., Xu, H., Shi, J., Chen, M. (2017). Energy Efficient Non-Orthogonal Multiple Access for Machine-to-Machine Communications. *IEEE Communications Letters*, 21 (4), 817–820. <https://doi.org/10.1109/lcomm.2016.2641423>
9. Yerohin, V., Peleshok, Ye. (2012). Optimum algorithms of division two mutually unorthogonal signals. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy "Kyivskiy politekhnichnyi instytut". Ser.: Radiotekhnika. Radioaparotobuduvannia*, 49, 33–41. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI_rr_2012_49_5
10. Yerokhin, V. F., Irkha, M. S. (2020). Methodology and Results of Synthesis and Analysis of Potential Resilience for Noise Immunity Compensator of an Asynchronous Intermittent Interference Similar to a Useful Phase-Manipulated Signal. *Visnyk NTUU KPI Seriya - Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, 82, 14–24. <https://doi.org/10.20535/radap.2020.82.14-24>
11. Yerokhin, V., Vakulenko, O. (2022). Evolution of algorithms for separation of optimal two mutually unorthogonal signals of binary phase modulation. Collection "Information Technology and Security," 10 (1), 83–97. <https://doi.org/10.20535/2411-1031.2022.10.1.261178>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326781

DEVISING A METHOD FOR DETERMINING THE COORDINATES OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE BY A NETWORK OF THREE SOFTWARE-DEFINED-RADIO RECEIVERS USED IN PAIRS (p. 41–49)

Hennadii Khudov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3311-2848>

Andrii Hryzo

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2483-5953>

Volodymyr Komarov

Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2873-8261>

Kostiantyn Yatsenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv,
Ukraine

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7822-8521>

Oleksandr Makoveichuk

Higher Education Institution "Academician Yuriy Bugay
International Scientific and Technical University", Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4425-016X>

Rostyslav Khudov

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6209-209X>

Petro Mynko

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2621-8900>

Olena Goncharenko

State Scientific Research Institute of Armament and Military
Equipment Testing and Certification, Cherkasy, Ukraine

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9479-9797>

Oleh Salnyk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2688-1198>

Valerii Vlasivuk

Kyiv Institute of the National Guard of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2140-3250>

The object of this study is the process of determining the coordinates of an unmanned aerial vehicle. The main hypothesis of the study assumed that the use of a network of three Software-Defined Radio (SDR) receivers could improve the accuracy of determining the coordinates of an unmanned aerial vehicle. The use of SDR receivers in pairs would reduce the number of false bearings.

A method for determining the coordinates of an unmanned aerial vehicle by a network of three SDR receivers when used in pairs has been improved, which, unlike the known ones, involves:

- measuring bearings by each SDR receiver;
- determining the pairwise angles of intersection of bearings;
- determining the maximum of the pairwise angles of intersection;
- determining a pair of SDR receivers for further calculations;
- using the triangulation method for determining the coordinates

of an unmanned aerial vehicle.

The accuracy of determining the coordinates of an aerial object by a network of two SDR receivers has been assessed. It was found that:

- the shape, orientation, and size of the error ellipses depend on the relative location in space of the SDR receivers and the unmanned aerial vehicle;
- the size of the scattering ellipses is reduced by (20–40) % due to the use of information from the optimal pair;
- in some cases, false switching of SDR receiver pairs is noticeable;
- the pair (first SDR receiver – third SDR receiver) has the largest base from the considered options, that is, starting from a certain range, the angle of intersection of the bearings for this case is closest to 90°, the area of the scattering ellipses of coordinate measurement errors is minimal, which determines its choice;
- when moving the unmanned aerial vehicle beyond the network coverage area of the SDR receiver pair, it is advisable to use another pair, this involves the use of a "chain" of SDR receivers.

Keywords: unmanned aerial vehicle, paired use of SDR receivers, bearing intersection angle.

References

1. Goldstein, L., Waechter, N. (2023). Chinese Strategists Evaluate the Use of 'Kamikaze' Drones in the Russia-Ukraine War. Available at: <https://www.rand.org/pubs/commentary/2023/11/chinese-strategists-evaluate-the-use-of-kamikaze-drones.html>
2. Grigore, L., Cristescu, C. (2024). The Use of Drones in Tactical Military Operations in the Integrated and Cybernetic Battlefield. *Land Forces Academy Review*, 29 (2), 269–273. <https://doi.org/10.2478/raft-2024-0029>
3. Riabukha, V. P. (2020). Radar Surveillance of Unmanned Aerial Vehicles (Review). *Radioelectronics and Communications Systems*, 63 (11), 561–573. <https://doi.org/10.3103/s0735272720110011>
4. Hrudka, O. (2024). Russian drone manufacturer 'Orlan-10' ramps up production despite sanctions, Inform Napalm reports. Available at: <https://euromaidanpress.com/2024/01/13/russian-drone-manufacturer-orlan-10-ramps-up-production-despite-sanctions-inform-napalm-reports/>
5. British intelligence: Russian radar destroyed in missile attack on Belbek in Crimea (2024). Available at: <https://mind.ua/en/news/20269399-british-intelligence-russian-radar-destroyed-in-missile-attack-on-belbek-in-crimea>
6. Khudov, H., Makoveichuk, O., Kostyria, O., Butko, I., Poliakov, A., Kozhushko, Y. et al. (2024). Devising a method for determining the coordinates of an unmanned aerial vehicle via a network of portable spectrum analyzers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (9 (132)), 97–107. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.318551>
7. Khudov, H., Kostianets, O., Kovalenko, O., Maslenko, O., Solomonenko, Y. (2023). Using Software-Defined radio receivers for determining the coordinates of low-visible aerial objects. *Eastern-European Jour-*

- nal of Enterprise Technologies, 4 (9 (124)), 61–73. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.286466>
8. Bousset, P. (2024). The Golden Age of Drones: Military UAV Strategic Issues and Tactical Developments. Available at: https://trendsresearch.org/insight/the-golden-age-of-drones-military-uav-strategic-issues-and-tactical-developments/?srsltid=AfmBOoptC41niCzbAJGHOTcUhRGJpWEW_y7hHLkI_5hKabW_fIBS5sZ
 9. Melvin, W. L., Scheer, J. (2012). Principles of Modern Radar: Advanced techniques. The Institution of Engineering and Technology. <https://doi.org/10.1049/sbra020e>
 10. Melvin, W. L., Scheer, J. A. (2013). Principles of Modern Radar: Volume 3: Radar Applications. The Institution of Engineering and Technology. <https://doi.org/10.1049/sbra503e>
 11. Lishchenko, V., Kalimulin, T., Khizhnyak, I., Khudov, H. (2018). The Method of the organization Coordinated Work for Air Surveillance in MIMO Radar. 2018 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), 1–4. <https://doi.org/10.1109/ukrmico43733.2018.9047560>
 12. Neyt, X., Raout, J., Kubica, M., Kubica, V., Roques, S., Acheroy, M., Verly, J. G. (2006). Feasibility of STAP for Passive GSM-Based Radar. 2006 IEEE Conference on Radar, 546–551. <https://doi.org/10.1109/radar.2006.1631853>
 13. Willis, N. J. (2004). Bistatic Radar. The Institution of Engineering and Technology. <https://doi.org/10.1049/sbra003e>
 14. Semenov, S., Jian, Y., Jiang, H., Chernykh, O., Binkovska, A. (2025). Mathematical model of intelligent UAV flight path planning. Advanced Information Systems, 9 (1), 49–61. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2025.1.06>
 15. Ruban, I., Khudov, H., Lishchenko, V., Pukhovyi, O., Popov, S., Kolos, R. et al. (2020). Assessing the detection zones of radar stations with the additional use of radiation from external sources. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (9 (108)), 6–17. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.216118>
 16. Multilateration (MLAT) Concept of Use (2007). ICAO Asia and Pacific Office. Available at: https://www.icao.int/APAC/Documents/edocs/mlat_concept.pdf
 17. Luo, D., Wen, G. (2024). Distributed Phased Multiple-Input Multiple-Output Radars for Early Warning: Observation Area Generation. Remote Sensing, 16 (16), 3052. <https://doi.org/10.3390/rs16163052>
 18. Kalkan, Y. (2024). 20 Years of MIMO Radar. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 39 (3), 28–35. <https://doi.org/10.1109/maes.2023.3349228>
 19. Barabash, O., Kyrianov, A. (2023). Development of control laws of unmanned aerial vehicles for performing group flight at the straight-line horizontal flight stage. Advanced Information Systems, 7 (4), 13–20. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.4.02>
 20. Weber, C., Peter, M., Felhauer, T. (2015). Automatic modulation classification technique for radio monitoring. Electronics Letters, 51 (10), 794–796. <https://doi.org/10.1049/el.2015.0610>
 21. Khudov, H., Hryzo, A., Oleksenko, O., Repilo, I., Lisohorskyi, B., Poliakov, A. et al. (2025). Devising a method for determining the coordinates of an air object by a network of two SDR receivers. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (9 (133)), 62–68. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.323336>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.327558

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF TECHNICAL SYSTEMS' COMPUTER DYNAMIC SIMULATORS (p. 50–61)

Olexander Shmatko

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2426-900X>

Serhii Herasymov

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1810-0387>

Stanislav Milevskiy

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5087-7036>

Nazar Balitskyi

National Ground Forces Academy, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3421-9839>

Serhii Pohasii

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4540-3693>

Mykhailo Aleksiiev

National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8920-3717>

Ihor Vlasov

National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3680-1347>

Yevhen Melenti

National Academy of the Security Service of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2955-2469>

Yuliia Kovalenko

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6714-4258>

Yevhen Peleshok

Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0033-1160>

The object of the study is the process of assessing the effectiveness of technical systems' computer dynamic simulators. The subject of the study is methods for assessing the effectiveness of dynamic simulators taking into account the criteria of economic efficiency of training of those who study. The assessment of the effectiveness of technical systems' simulators is associated with the audit of the skills of making correct management decisions in the conditions of a complex information environment.

The advantage of this study is to assess the effectiveness of technical systems' computer dynamic simulators that use artificial intelligence to improve training in the necessary skills in a short time, taking into account the economic component. The essence of the method is to use the proposed criteria to adequately assess the effectiveness of simulator training. The method allows to compare simulators with each other and justify ways of their development and improvement. A feature of the developed method is the proposed procedure for building and studying a simulation model that reproduces the real processes of the functioning of a technical system in a simulator. A simulation model of a real technical system through the use of the artificial intelligence function allows to improve the realism of the simulator and reduce the training time by up to 30 %. This is explained by the fact that the use of simulators with artificial intelligence will allow to more realistically simulate the processes of the functioning of a real technical system. The proposed method allows to substantiate the potential possibilities of using the simulator system in the process of practical training. The results of the study allow to evaluate the simulators to improve the quality of practical training of operators and to substantiate the directions of development and modernization of simulators.

Keywords: simulation model, efficiency criteria, training, operator, practical training, technical system.

References

- Balitskiy, N., Ivanyk, E., Bolkot, P., Ilkiv, I., Smychok, V., Vankevych, P. (2022). Adaptation of extreme planning methodology to optimize the functioning of training simulators for personnel of the army land divisions. *The scientific heritage*, 83, 29–32. <https://doi.org/10.24412/9215-0365-2022-83-1-29-32>
- Kelley, K. P., Johnson-Freese, J. (2014). Getting to the Goal in Professional Military Education. *Orbis*, 58 (1), 119–131. <https://doi.org/10.1016/j.orbis.2013.11.009>
- Shmatko, O., Herasymov, S., Lysetskiy, Y., Yevseiev, S., Sievierinov, O., Voitko, T. et al. (2023). Development of the automated decision-making system synthesis method in the management of information security channels. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (9 (126)), 39–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.293511>
- Herasymov, S., Tkachov, A., Bazarnyi, S. (2024). Complex method of determining the location of social network agents in the interests of information operations. *Advanced Information Systems*, 8 (1), 31–36. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.1.04>
- Anticaglia, A., Veneroso, L., Alfatti, F., Vitaliti, D., Annicchiarico, C., Capitani, R. (2024). Enabling the capabilities of Hardware in the Loop for steering feel characterization on a dynamic simulator. *14th International Munich Chassis Symposium 2023*, 393–405. https://doi.org/10.1007/978-3-662-70348-9_24
- Mercea, V., Tantau, M., Sabin, O., Vesa, S., Pascu, O. (2015). The role of endoscopic computer simulator in assessing the quality level of endoscopists. *HVM Bioflux*, 7 (4), 315–318.
- Assis, R., Nogueira, B. (2024). WIMS: A Modern Web-Based MIPS Simulator for Improved Learning in Computer Architecture and Operating Systems. *International Journal of Computer Architecture Education*, 13 (1), 1–6. <https://doi.org/10.5753/ijcae.2024.5325>
- Khoja, J. A., Al-Shalash, M. A., Bredow, J. W. (2003). Simulation of CDMA systems using dynamic system simulator. *Radio and Wireless Conference, 2003. RAWCON '03. Proceedings*, 31–34. <https://doi.org/10.1109/rawcon.2003.1227885>
- Dang, C., Valdebenito, M. A., Manque, N. A., Xu, J., Faes, M. G. R. (2025). Response probability distribution estimation of expensive computer simulators: A Bayesian active learning perspective using Gaussian process regression. *Structural Safety*, 114, 102579. <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2025.102579>
- Su, T., Peng, J., Selim, A., Zhao, J., Tan, J. (2024). A Survey of Open-Source Power System Dynamic Simulators with Grid-Forming Inverter for Machine Learning Applications. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.08065>
- Kleizi, P. N., Piñero, B., Futralan, M. C. (2025). Teaching Wave Concepts Using Self-Made Wave Machine and Computer Simulator. *Journal of Interdisciplinary Perspectives*, 3 (1). <https://doi.org/10.69569/jip.2024.0593>
- Marchenko, M., Kharzhevskiy, V., Tkachuk, V., Horiashchenko, S. (2023). The Usage Of Computer-Aided Engineering System “Solid-works Motion” To Solve The Problems Of Kinematics And Dynamics Of Technical Systems. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 327 (5 (2)), 74–81. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2023-325-5-74-81>
- Ventre, K. M., Schwid, H. A. (2013). Computer and Web Based Simulators. *The Comprehensive Textbook of Healthcare Simulation*, 191–208. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5993-4_14
- Thurner, T., Maier, J., Kaltenbrunner, M., Schrempf, A. (2024). Dynamic Tactile Synthetic Tissue: from Soft Robotics to Hybrid Surgical Simulators. *Advanced Intelligent Systems*, 6 (12). <https://doi.org/10.1002/aisy.202400199>
- Manalastas, M., bin Farooq, M. U., Asad Zaidi, S. M., Imran, A. (2023). Toward the Development of 6G System Level Simulators: Addressing the Computational Complexity Challenge. *IEEE Wireless Communications*, 30 (6), 160–168. <https://doi.org/10.1109/mwc.013.2200409>
- Xiao, T., Chen, Y., Wang, J., Huang, S., Tong, W., He, T. (2023). Exploration of Artificial-intelligence Oriented Power System Dynamic Simulators. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 11 (2), 401–411. <https://doi.org/10.35833/mpce.2022.000099>
- Chew Hernandez, M. L., Viveros Rosas, L., Hernandez-Arrieta, I. (2022). A User-Friendly Dynamic Reactor Simulator Built in Microsoft Excel. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 12 (6), 9414–9419. <https://doi.org/10.48084/etasr.5152>
- Sawada, R., Miyauchi, Y., Wada, S., Tanigushi, T., Hamada, S., Koike, H. et al. (2024). Perspective on the Marine Simulator for Autonomous Vessel Development. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.19673>
- Herasymov, S., Yevseiev, S., Milevskiy, S., Balitskiy, N., Zaika, V., Povaliaiev, S. et al. (2024). Development of a method for automatic control of monitoring means for information protection objects. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (9 (132)), 25–38. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.319058>
- Balitskiy, N. S., Vankevych, P. I. (2024). Naukovo-metodolohichne pidhruntia vidtvorennia alhorytmiv funktsionuvannia navchalnykh merezh trenazhernykh kompleksiv zrazkiv OVT. *Zb. nauk. prats. Tsentralnyi naukovo-doslidnyi instytut ozbroiennia ta viyskovoi tekhniki*, 1 (92), 89–96.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.327907

SPEAKER RECOGNITION BY ULTRASHORT UTTERANCES (p. 62–69)

Bekbolat MedetovL.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana,
Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5594-8435>**Aigul Nurlankyzy**Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
Non-Profit Joint Stock Company “Almaty University of Power
Engineering and Telecommunications named after Gumarbek
Daukeyev”, Almaty, Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0791-8573>**Timur Namazbayev**Al-Farabi Kazakh National University, Almaty,
Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2389-2262>**Ainur Akhmediyarova**Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4439-7313>**Kairatbek Zhetpisbayev**Turan University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8828-0075>**Ainur Zhetpisbayeva**L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana,
Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4525-5299>**Aliya Kargulova**S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana,
Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5848-8617>

The object of this study is the accuracy of announcer identification based on short utterances.

To solve the task of speaker identification based on ultra-short speech utterances, a phoneme-by-phoneme approach to constructing voice models has been proposed within the framework of the study. The validity of this approach is based on the fact that short utter-

ances usually contain a limited number of phonemes. In this regard, a hypothesis was put forward assuming that in order to increase the accuracy of announcer identification based on short utterances, it is necessary to analyze the sound of specific phonemes by different announcers.

The experiments involved speech recordings of monosyllabic words with corresponding phonemes, on the basis of which, using the ECAPA-TDNN neural network architecture, announcer voice models were constructed. The experimental studies showed that voice models constructed based on the sounds of only one model provide higher announcer identification accuracy compared to generalized models constructed based on all speech sounds.

It was also found that different phonemes provide different announcer identification accuracy. For example, with a speech signal duration of 2–3 seconds, the accuracy of announcer identification by the generalized model was 75 %. And the accuracy of announcer identification using a model built on the basis of only one phoneme “E”, with the same input data, was 85 %, which is 10 percentage points higher than that of the generalized model.

Keywords: announcer recognition, ultra-short utterances, phoneme-by-phoneme recognition, ECAPA-TDNN, phonemes of the Kazakh language.

References

1. Sharif-Noughabi, M., Razavi, S. M., Mohamadzadeh, S. (2025). Improving the Performance of Speaker Recognition System Using Optimized VGG Convolutional Neural Network and Data Augmentation. *International Journal of Engineering*, 38 (10), 2414–2425. <https://doi.org/10.5829/ije.2025.38.10a.17>
2. Tomar, S., Koolagudi, S. G. (2025). Blended-emotional speech for Speaker Recognition by using the fusion of Mel-CQT spectrograms feature extraction. *Expert Systems with Applications*, 276, 127184. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2025.127184>
3. Chauhan, N., Isshiki, T., Li, D. (2024). Enhancing Speaker Recognition Models with Noise-Resilient Feature Optimization Strategies. *Acoustics*, 6 (2), 439–469. <https://doi.org/10.3390/acoustics6020024>
4. Kohler, O., Imtiaz, M. (2025). Investigation of Text-Independent Speaker Verification by Support Vector Machine-Based Machine Learning Approaches. *Electronics*, 14 (5), 963. <https://doi.org/10.3390/electronics14050963>
5. Missaoui, I., Lachiri, Z. (2025). Stationary wavelet Filtering Cepstral coefficients (SWFCC) for robust speaker identification. *Applied Acoustics*, 231, 110435. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2024.110435>
6. Zhang, X., Tang, J., Cao, H., Wang, C., Shen, C., Liu, J. (2025). A Self-Supervised Method for Speaker Recognition in Real Sound Fields with Low SNR and Strong Reverberation. *Applied Sciences*, 15 (6), 2924. <https://doi.org/10.3390/app15062924>
7. Li, P., Hoi, L. M., Wang, Y., Yang, X., Im, S. K. (2025). Enhancing Speaker Recognition with CRET Model: a fusion of CONV2D, RESNET and ECAPA-TDNN. *EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing*, 2025 (1). <https://doi.org/10.1186/s13636-025-00396-4>
8. Ohi, A. Q., Mridha, M. F., Hamid, M. A., Monowar, M. M., Lee, D., Kim, J. (2020). A Lightweight Speaker Recognition System Using Timbre Properties. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2010.05502>
9. Kye, S. M., Jung, Y., Lee, H. B., Hwang, S. J., Kim, H. (2020). Meta-Learning for Short Utterance Speaker Recognition with Imbalance Length Pairs. *Interspeech 2020*. <https://doi.org/10.21437/interspeech.2020-1283>
10. Wang, W., Zhao, H., Yang, Y., Chang, Y., You, H. (2023). Few-shot short utterance speaker verification using meta-learning. *PeerJ Computer Science*, 9, e1276. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1276>
11. Chen, Y., Zheng, S., Wang, H., Cheng, L., Zhu, T., Huang, R. et al. (2025). 3D-Speaker-Toolkit: An Open-Source Toolkit for Multimodal Speaker Verification and Diarization. *ICASSP 2025 - 2025 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/icassp49660.2025.10888389>
12. Desplanques, B., Thienpondt, J., Demuyne, K. (2020). ECAPA-TDNN: Emphasized Channel Attention, Propagation and Aggregation in TDNN Based Speaker Verification. *Interspeech 2020*. <https://doi.org/10.21437/interspeech.2020-2650>
13. Ravanelli, M., Parcollet, T., Moumen, A., de Langen, S., Subakan, C., Plantinga, P. et al. (2024). Open-Source Conversational AI with SpeechBrain 1.0. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2407.00463>
14. Ravanelli, M., Parcollet, T., Plantinga, P., Rouhe, A., Cornell, S., Lugosch, L. et al. (2021). SpeechBrain: A General-Purpose Speech Toolkit. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2106.04624>

Анотації
INFORMATION AND CONTROLLING SYSTEM

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326561

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОТОКОЛУ МАРШРУТИЗАЦІЇ ПРИКОРДОННОГО ШЛЮЗУ З ІНТЕГРАЦІЄЮ МНОЖНИКА ЛАГРАНЖА ТА ГРАДІЄНТНОГО СПУСКУ ДЛЯ МЕРЕЖІ (с. 6–13)

Ferry Fachrizal, Okvi Nugroho, Al-khowarizmi

Об'єкт дослідження – лінії передачі даних. Проблема, що вирішувалась, пов'язана з оптимізацією мережевих маршрутів передачі, які є динамічними та адаптованими до змін умов реального часу, включаючи коефіцієнти затримки, стабільність з'єднання та інтеграцію алгоритмів, які можуть ефективно задовольняти потреби великої мережі з точки зору передачі. Результати, отримані в результаті цього дослідження, представлені у формі моделі, яка може ідентифікувати керування маршрутами та оптимізувати протокол прикордонного шлюзу. Результати дослідження показують, що застосування цього методу може оптимізувати шлях передачі, враховуючи мережеві обмеження та динаміку стану в реальному часі. Це дослідження має інтерпретацію того, що запропонована модель доведена як ефективна для покращення продуктивності мережі, з підвищеною ефективністю, зменшеними обмеженнями та здатністю адаптуватися до змін умов мережі. Про це свідчить точність у вигляді кількісної ефективності, яка досягає 95 % точності, за допомогою моделі Reinforcement Learning, здатної значно підвищити ефективність і точність порівняно з традиційними методами оптимізації маршрутизації BGP. Характеристики, які містяться в цьому дослідженні, включають здатність керувати та ідентифікувати маршрути передачі для підвищення ефективності мережі, зменшення затримки, збільшення пропускної здатності, мінімізації кількості переходів під час керування маршрутами передачі BGP. Існують обмеження, пов'язані з обробкою вхідних даних, які вимагають більш глибоких досліджень. Це дослідження сприяє оптимізації маршруту BGP за допомогою алгоритмів машинного навчання, які можна застосовувати в складних і динамічних мережах.

Ключові слова: BGP, стабільність з'єднання, маршрутизація, машинне навчання, множник Лагранжа, градієнтний спуск.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326222

РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИЯВЛЕННЯ ТА ВИПРАВЛЕННЯ БАГАТОБІТОВИХ ПОМИЛОК ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ У СИСТЕМАХ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ НА ОСНОВІ КОДУ ГОЛЕЯ (с. 14–23)

В. В. Соколовський, Е. В. Жаріков, С. Ф. Теленик, Grzegorz Nowakowski, С. В. Поперешняк, М. М. Мариненко

Об'єктом дослідження є інформаційні системи Інтернету речей.

Проблема, що вирішується, – розвиток інноваційного методу виявлення та корекції багатобітових помилок передачі даних в мережах Інтернету речей на основі кодів Голея.

Основний результат дослідження у тому, що розроблено метод виявлення та корекції багатобітових помилок передачі даних на основі кодів Голея під час побайтової передачі інформаційного блоку.

Розроблений метод відрізняється схемою кодування, яка передбачає розрахунок 11 контрольних бітів та одного біта парності для дванадцяти байтів вихідного інформаційного повідомлення з подальшим перемішуванням за допомогою операцій зсуву перед передачею в канал зв'язку.

Таким чином, для дванадцяти байтів вхідної інформації на виході кодера утворюється інформаційний блок з 24 байтів, причому біти байтів належать восьми різним кодовим словам розширеного коду Голея (24, 12).

При передачі інформаційного блоку може бути спотворений один, або кілька бітів байту, що передається. Але після виконання на прийомному боці операцій зсуву, зворотних тим, що виконувались перед передачею, з'являється можливість виявити та виправити помилки передачі завдяки використанню методів декодування коду Голея. Помилки передачі окремого байту, які підлягають виявленню та виправленню, можуть досягати восьми. Це є можливим, тому що усі біти байту, що передається по каналу зв'язку, належать різним комбінаціям коду Голея – кожен окрему комбінацію утворюють біти різних байтів, що мають однакові номери.

Завдяки тому, що інформаційне повідомлення з 24-х байтів складається з восьми кодових комбінацій коду Голея (24, 12), є можливість виправляти до 24 бітових помилок в одному повідомленні довжиною 24 байта.

Ключові слова: інженерія програмного забезпечення, коригуючі коди, коди Голея, Інтернет речей, інформаційна система, інші інформаційні блоки.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326040

РОЗРОБКА МЕТОДУ СТАБІЛІЗУЮЧОГО КЕРУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯМ ШЛЮЗУ КЛАСТЕРА ГРАНИЧНОГО ШАРУ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ (с. 24–32)

Г. А. Кучук, О. О. Можасєв, С. А. Тюленєв, М. О. Можасєв, Н. Г. Кучук, Л. П. Тимощик, А. В. Лубенцов, Ю. В. Гнусов, С. І. Клівець, О. В. Кулешов

Об'єктом дослідження є процес керування перевантаженнями на граничному шарі територіально розподіленого Інтернету речей.

Вирішувалась проблема зменшення кількості втрат інформаційних пакетів територіально розподіленого Інтернету речей, що надходять до шлюзу граничного шару. Для цього запропоновано використовувати швидко тимчасове горизонтальне масштабування та стабілізуюче керування навантаженням, що формується у буфері шлюзу.

В процесі проведення досліджень розроблений алгоритм тимчасового горизонтального масштабування для шлюзу кластера граничного шару. При розробці використаний еволюційний Firefly Algorithm з фітнес-функцією на базі функції Лоренца. Це дозволило прискорити знаходження вузла кластера для оперативного тимчасового масштабування шлюзу на період перевантаження буфера шлюзу.

Модифікований стандартний алгоритм інтелектуального керування чергами. Модифікація базується на запропонованому методі стабілізуючого керування навантаженням шлюзу кластера граничного шару географічно рознесеного Інтернету речей. Метод враховує особливості архітектури граничного шару. Запропонований метод дозволив у випадку досягнення верхнього порогу черги провести масштабування шлюзу до моменту заповнення його буферу. Внаслідок цього була зменшена кількість втрат інформаційних пакетів, що надходять до шлюзу граничного шару. Дослідження запропонованого методу показали, що кількість втрат інформаційних пакетів зменшується у порівнянні з існуючими методами. Отримані результати дослідження можна пояснити задіянням тимчасового горизонтального масштабування шлюзу та фіксацією порогів буферу черги інформаційних пакетів. Метод є ефективним при середньому рівні навантаження на шлюз кластера від 0,2 до 1,2.

Ключові слова: інтернет речей, стабілізуюче керування, інформаційний пакет, перевантаження буфера, граничні обчислення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326094

ВИЗНАЧЕННЯ ПОТЕНЦІЙНОЇ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ РОЗДІЛЕННЯ-ДЕМОДУЛЯЦІЇ ДВОХ ПЕРЕРИВЧАСТИХ ВЗАЄМНО НЕОРТОГОНАЛЬНИХ СИГНАЛІВ BINARY PHASE-SHIFT KEYING (с. 33–40)

О. В. Вакуленко, В. Ф. Єрохін

Зростання кількості мобільних користувачів послуг електронних комунікацій призводить до вичерпання радіочастотного ресурсу, що обумовило актуальність пошуку шляхів його повторного використання. Залучення методів сучасної теорії багатокористувацького детектування дозволяє в спільному каналному ресурсі забезпечувати одночасне передавання деякої кількості взаємно неортогональних сигналів, що розрізняються за потужністю. Ці методи передбачають можливість одержання алгоритмів виявлення-розділення двох цифрових сигналів в процесах передачі інформації в радіоканалах з взаємно неортогональними цифровими сигналами, які є об'єктом дослідження. Тут пропонується розв'язання проблеми визначення потенційної завадостійкості розділення-демодуляції двох взаємно неортогональних сигналів BPSK з точно відомими неінформаційними параметрами, що передбачає врахування переривчастості їх випромінювання. Для цього в якості вихідних даних залучені результати синтезу алгоритму виявлення-розділення двох взаємно неортогональних переривчастих сигналів BPSK, оптимального за критерієм мінімуму імовірності помилки в оцінці їх інформаційних дискретних параметрів. Такий критерій є необхідною умовою розв'язання зазначеної проблеми. Характерними відмінностями представленої методики аналізу потенційної завадостійкості є відсутність обмежень на енергетичні характеристики сигналів, ступінь їх неортогональності і імовірності випромінювання. Отримані результати дають можливість розробникам на практиці визначатись з мінімально необхідними відмінами в миттєвих потужностях сигналів з метою досягнення максимальної енергетичної ефективності використання радіоканалів за заданих вимог до ймовірності помилки. Зокрема, показано, що відміна в таких потужностях повинна сягати не менше 5÷6 дБ у випадку, коли обидва сигнали випромінюються неперервно, а при оптимальному виявленні-розділенні переривчастих сигналів така відміна зростає до 9÷10 дБ, в залежності від ступеня взаємної неортогональності між сигналами.

Ключові слова: багатокористувацьке детектування, взаємно неортогональні цифрові сигнали, дискретний параметр, потенційна завадостійкість.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326781

РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ МЕРЕЖЕЮ ТРЬОХ SOFTWARE-DEFINED RADIO ПРИЙМАЧІВ ПРИ ЇХ ПОПАРНОМУ ВИКОРИСТАННІ (с. 41–49)

Г. В. Худов, А. А. Гризо, В. С. Комаров, К. Г. Яценко, О. М. Маковейчук, Р. Г. Худов, П. Є. Минко, О. О. Гончаренко, О. В. Сальник, В. В. Власюк

Об'єктом дослідження є процес визначення координат безпілотного літального апарату. Основна гіпотеза дослідження полягала в тому, що використання мережі трьох Software-Defined Radio (SDR) приймачів дозволить підвищити точність визначення координат безпілотного літального апарату. Попарне використання SDR приймачів дозволить зменшити кількість хибних пеленгів.

Удосконалено метод визначення координат безпілотного літального апарату мережею трьох SDR приймачів при їх попарному використанні, який, на відміну від відомих, передбачає:

- вимірювання пеленгів кожним SDR приймачем;
- визначення попарних кутів перетину пеленгів;
- визначення максимального з попарних кутів перетину;
- визначення пари SDR приймачів для подальших розрахунків;
- використання триангуляційного методу визначення координат безпілотного літального апарату.

Проведено оцінювання точності визначення координат повітряного об'єкту мережею двох SDR приймачів. Встановлено, що:

- форма, орієнтація та розмір еліпсів похибок залежить від взаємного розташування у просторі SDR приймачів та безпілотного літального апарату;
- розміри еліпсів розсіювання зменшуються на (20–40) % за рахунок використання інформації оптимальної пари;
- у деяких випадках помітні хибні перемикання пар SDR приймачів;

– пара (перший SDR приймач – третій SDR приймач) має найбільшу базу з розглянутих варіантів, тобто, починаючи з певної дальності кут перетину пеленгів для цього випадку є найближчим до 90° , площа еліпсів розсіювання похибок виміру координат мінімальна, що і обумовлює її вибір;

– при переміщенні безпілотної літальної апарату за межі дії мережі пари SDR приймачів доцільно використовувати іншу пару, це передбачає використання «ланцюжку» SDR приймачів.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, попарне використання SDR приймачів, кут перетину пеленгів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.327558

РОЗРОБКА МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМП'ЮТЕРНИХ ДИНАМІЧНИХ ТРЕНАЖЕРІВ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ (с. 50–61)

О. В. Шматко, С. В. Герасимов, С. В. Мілевський, Н. С. Баліцький, С. С. Погасій, М. М. Алексєєв, І. О. Власов,
Є. О. Меленті, Ю. Б. Коваленко, Є. В. Пелешок

Об'єктом дослідження є процес оцінювання ефективності комп'ютерних динамічних тренажерів технічних систем. Предметом дослідження є методи оцінювання ефективності динамічних тренажерів із урахуванням критеріїв економічної ефективності підготовки тих, хто навчається. Оцінювання ефективності тренажерів технічних систем пов'язано з аудитом навичок правильного прийняття управлінських рішень в умовах складної обстановки інформаційного середовища.

Перевага даного дослідження полягає у оцінюванні ефективності комп'ютерних динамічних тренажерів технічних систем, які використовують штучний інтелект для покращення навчання потрібним навичкам у стислі терміни з урахуванням економічної складової. Суть методу полягає у використанні запропонованих критеріїв для проведення адекватного оцінювання ефективності тренажерної підготовки. Метод дозволяє проводити порівняння тренажерів між собою та обґрунтувати шляхи їх розвитку та удосконалення. Особливістю розробленого методу є запропонований порядок побудови і дослідження імітаційної моделі, яка відтворює реальні процеси функціонування технічної системи в тренажері. Імітаційна модель реальної технічної системи за рахунок використання функції штучного інтелекту дозволяє покращити реалістичність тренажеру та зменшити час на підготовку до 30 %. Це пояснюється тим, що використання тренажерів із штучним інтелектом дозволить більш реалістично імітувати процеси функціонування реальної технічної системи. Запропонований метод дозволяє обґрунтувати потенційні можливості використання системи тренажерів у процесі практичної підготовки. Результати дослідження дозволяють оцінювати тренажери для підвищення якості практичної підготовки операторів і обґрунтовувати напрямки розвитку та модернізації тренажерів.

Ключові слова: імітаційна модель, критерії ефективності, навчання, оператор, практична підготовка, технічна система.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.327907

РОЗПІЗНАВАННЯ ГОВОРЯЧОГО ЗА НАДКОРОТКИМИ ВИСЛОВЛЮВАННЯМИ (с. 62–69)

Bekbolat Medetov, Aigul Nurlankyzy, Timur Namazbayev, Ainur Akhmediyarova, Kairatbek Zhetpisbayev, Ainur Zhetpisbayeva,
Aliya Kargulova

Об'єктом дослідження є точність ідентифікації дикторів за короткими висловлюваннями.

Для розв'язання проблеми ідентифікації мовця за надкороткими мовленнєвими висловлюваннями в межах дослідження був запропонований пофонемний підхід до побудови голосових моделей. Обґрунтованість цього підходу базується на тому, що в коротких висловлюваннях зазвичай присутня обмежена кількість фонем. У зв'язку з цим у роботі була висунута гіпотеза про те, що для підвищення точності ідентифікації дикторів за короткими висловлюваннями потрібно аналізувати звучання конкретних фонем різними дикторами.

У експериментах використовувалися мовленнєві записи односкладових слів із відповідними фонемами, на основі яких за допомогою нейронмережевої архітектури ESAPA-TDNN були побудовані голосові моделі дикторів. Проведені експериментальні дослідження показали, що голосові моделі, побудовані на основі звуків лише однієї фонемі, забезпечують вищу точність ідентифікації дикторів порівняно з узагальненими моделями, побудованими за всіма мовленнєвими звуками.

Також було встановлено, що різні фонемі забезпечують різну точність ідентифікації дикторів. Наприклад, при тривалості мовного сигналу 2–3 секунди точність ідентифікації дикторів за допомогою узагальненої моделі склала 75 %, тоді як точність ідентифікації за моделлю, побудованою на основі лише фонемі «Е», за тих самих вхідних даних склала 85 %, що на 10 процентних пунктів вище, ніж у загальної моделі.

Ключові слова: розпізнавання диктора, надкороткі висловлювання, пофонемне розпізнавання, ESAPA-TDNN, фонемі казахської мови.