

ABSTRACT AND REFERENCES

MATHEMATICS AND CYBERNETICS – APPLIED ASPECTS

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.322263

DEVISING A METHOD FOR FORMING A STABLE MOBILE CLUSTER OF THE INTERNET OF THINGS FOG LAYER (p. 6–14)**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>**Yurii Onishchenko**Kharkiv National University of Internal Affairs, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7755-3071>**Volodymyr Tulupov**Kharkiv National University of Internal Affairs, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4794-743X>**Tetiana Bykova**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/0000-0002-6722-9470>**Viktoriia Roh**Kharkiv National University of Internal Affairs, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7443-5125>

The object of this study is the process of clustering the fog layer of the Internet of Things (IoT) with high and ultra-high density.

The task to increase the stability of mobile components in the fog layer has been solved by modifying the clustering method.

In the process of conducting research, an approach was devised to form the architecture of the mobile component in the fog layer of the IoT. The development took into account the decentralization of the fog layer and the specific features of mobile IoT devices. This has made it possible to propose a four-level architecture, which, unlike the standard one, contains separate mobile clusters at the lower level of fog devices.

A model of a mobile cluster of the fog layer has been proposed, which takes into account the randomness of the mobile IoT devices movement and is based on the Thomas point process. Unlike existing models, it takes into account both spatial and stability indicators

of mobile cluster components. This model has made it possible to modify the standard FOREL clustering algorithm. The modification was carried out by introducing weight coefficients when finding the position of the center of the mobile cluster.

The proposed method increases the stability of a mobile cluster of the IoT fog layer with high and ultra-high density. Studies of the proposed method have shown that with an increase in the average relative deviation of IoT devices from the planned movement, the stability of the mobile cluster structure increases.

The research results can be explained by the approach of the center of the mobile cluster to its most unstable components. The proposed method could be used in the clustering of the IoT fog layer with mobile components. The method is effective when the average deviation of the movement of IoT mobile devices from the planned movement is no more than 20 % of the cluster radius.

Keywords: Internet of Things, clustering, mobile device, stability, ultra-high density, cloud infrastructure, fog computing.

References

- Alsadie, D. (2024). Advancements in heuristic task scheduling for IoT applications in fog-cloud computing: challenges and prospects. *PeerJ Computer Science*, 10, e2128. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.2128>
- Pardo, C., Wei, R., Ivens, B. S. (2022). Integrating the business networks and internet of things perspectives: A system of systems (SoS) approach for industrial markets. *Industrial Marketing Management*, 104, 258–275. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2022.04.012>
- Mani Kiran, Ch. V. N. S., Jagadeesh Babu, B., Singh, M. K. (2022). Study of Different Types of Smart Sensors for IoT Application Sensors. *Proceedings of Second International Conference in Mechanical and Energy Technology*, 101–107. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0108-9_11
- Fatlawi, A., Al-Dujaili, M. J. (2023). Integrating the internet of things (IoT) and cloud computing challenges and solutions: A review. *4th International Scientific Conference of Alkafeel University (ISCKU 2022)*, 2977, 020067. <https://doi.org/10.1063/5.0181842>
- Hu, N. (2024). Internet of things edge data mining technology based on cloud computing model. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 20 (6), 1749–1763. Available at: <http://www.ijicic.org/ijicic-200611.pdf>
- 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>
- 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>
- Singh, C., Khilari, S., Taware, R. (2024). Active Machine-to-Machine (M2M) and IoT Communication Architecture for Mobile Devices and Sensor Nodes. *Artificial Intelligence in Internet of Things (IoT): Key Digital Trends*, 25–38. https://doi.org/10.1007/978-981-97-5786-2_3
- Kuchuk, N., Ruban, I., Zakovorotnyi, O., Kovalenko, A., Shyshatskyi, A., Sheviakov, I. (2023). Traffic Modeling for the Industrial Internet of Nano-Things. *2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/khpiweek61412.2023.10312856>
- Sobchuk, V., Pykhnivskyi, 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>
- Ding, H., Ding, X., Xia, F., Zhou, F. (2023). An Efficient Method for Implementing Applications of Smart Devices Based on Mobile

- Fog Processing in a Secure Environment. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14 (10). <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2023.0141011>
12. Qayyum, T., Trabelsi, Z., Waqar Malik, A., Hayawi, K. (2022). Mobility-aware hierarchical fog computing framework for Industrial Internet of Things (IIoT). *Journal of Cloud Computing*, 11 (1). <https://doi.org/10.1186/s13677-022-00345-y>
 13. Routray, K., Bera, P. (2024). Fog-Assisted Dynamic IoT Device Access Management Using Attribute-Based Encryption. *Proceedings of the 25th International Conference on Distributed Computing and Networking*, 346–352. <https://doi.org/10.1145/3631461.3631466>
 14. Saurabh, Dhanaraj, R. K. (2023). Enhance QoS with fog computing based on sigmoid NN clustering and entropy-based scheduling. *Multimedia Tools and Applications*, 83 (1), 305–326. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-15685-3>
 15. 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>
 16. Sharma, S., Saini, H. (2019). A novel four-tier architecture for delay aware scheduling and load balancing in fog environment. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 24, 100355. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2019.100355>
 17. Li, G., Liu, Y., Wu, J., Lin, D., Zhao, S. (2019). Methods of Resource Scheduling Based on Optimized Fuzzy Clustering in Fog Computing. *Sensors*, 19 (9), 2122. <https://doi.org/10.3390/s19092122>
 18. Jamil, B., Shojafar, M., Ahmed, I., Ullah, A., Munir, K., Ijaz, H. (2019). A job scheduling algorithm for delay and performance optimization in fog computing. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 32 (7). <https://doi.org/10.1002/cpe.5581>
 19. 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>
 20. Proietti Mattia, G., Beraldi, R. (2023). P2PFaaS: A framework for FaaS peer-to-peer scheduling and load balancing in Fog and Edge computing. *SoftwareX*, 21, 101290. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2022.101290>
 21. Lu, S., Wu, J., Wang, N., Duan, Y., Liu, H., Zhang, J., Fang, J. (2021). Resource provisioning in collaborative fog computing for multiple delay-sensitive users. *Software: Practice and Experience*, 53 (2), 243–262. <https://doi.org/10.1002/spe.3000>
 22. Drabech, Z., Douimi, M., Zemmouri, E. (2024). A Markov random field model for change points detection. *Journal of Computational Science*, 83, 102429. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2024.102429>
 23. Zhu, Q., Hu, L., Wang, R. (2022). Image Clustering Algorithm Based on Predefined Evenly-Distributed Class Centroids and Composite Cosine Distance. *Entropy*, 24 (11), 1533. <https://doi.org/10.3390/e24111533>
 24. Laktionov, O., Yanko, A., Pedchenko, N. (2024). Identification of air targets using a hybrid clustering algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (4 (131)), 89–95. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.314289>
 25. Mutambik, I. (2024). An Entropy-Based Clustering Algorithm for Real-Time High-Dimensional IoT Data Streams. *Sensors*, 24 (22), 7412. <https://doi.org/10.3390/s24227412>
 26. 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>
 27. Filosi, M., Visintainer, R., Riccadonna, S., Jurman, G., Furlanello, C. (2014). Stability Indicators in Network Reconstruction. *PLoS ONE*, 9 (2), e89815. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089815>
 28. Petrovska, I., Kuchuk, H., Mozhaiev, M. (2022). Features of the distribution of computing resources in cloud systems. *2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/khpiweek57572.2022.9916459>
 29. 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>
 30. Thomas, P., Jose, D. V. (2023). Towards Computation Offloading Approaches in IoT-Fog-Cloud Environment: Survey on Concepts, Architectures, Tools and Methodologies. *Third Congress on Intelligent Systems*, 37–52. https://doi.org/10.1007/978-981-19-9379-4_4
 31. Petrovska, I., Kuchuk, H. (2023). Adaptive resource allocation method for data processing and security in cloud environment. *Advanced Information Systems*, 7 (3), 67–73. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.3.10>
 32. Emami Khansari, M., Sharifian, S. (2024). A scalable modified deep reinforcement learning algorithm for serverless IoT microservice composition infrastructure in fog layer. *Future Generation Computer Systems*, 153, 206–221. <https://doi.org/10.1016/j.future.2023.11.022>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.322367

DEVISING A UNIVERSAL OPTIMIZATION METHOD UNDER CONDITIONS OF FUZZY INITIAL DATA (p. 15–21)

Lev Raskin

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9015-4016>

Oksana Sira

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4869-2371>

Larysa Sukhomlyn

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi
National University, Kremenchuk, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9511-5932>

Viacheslav Karpenko

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8378-129X>

Vitalii Vlasenko

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5427-0223>

The object of this study is an optimization method under conditions when the initial data (parameters of the system or the environment in which the system operates) are not precisely defined. The problem that arises in this case is related to the lack of universal mathematical methods that solve optimization problems under conditions of uncertainty of the initial data. To solve these problems, approaches are proposed based on the transformation of the initial fuzzy problems into clear problems of mathematical programming. In this case, either a solution to the optimization problem "on average" or solutions obtained for extreme values of inaccurately specified parameters of the problem are proposed as the desired result. The error of the resulting solution is unpredictable.

This paper proposes an alternative approach to solving optimization problems under conditions of fuzzy initial data. The method is based on the use of a multiplicative convolution of the objective function of the problem and a set of membership functions of fuzzy parameters. A feature of the method is that it is stable with respect to the possible variety of analytical descriptions of the objective

function of the problem and ensures an adequate solution that takes into account the real uncertainty of the initial data. The fundamental feature of the method: the technique of its construction and the computational scheme of its implementation do not depend in any way on the type, nature, and complexity of the analytical description of the objective function of the original problem. At the same time, to implement the proposed optimization procedure, it is sufficient to have the ability to calculate the value of the objective function on any set of its variables. It is shown that in all cases the original problem with fuzzy initial data is transformed into a conventional deterministic optimization problem solved by known methods. An example of an analytical solution to the problem is given.

Keywords: optimization method, fuzzy initial data, development of a general approach.

References

- Antczak, T. (2024). On optimality for fuzzy optimization problems with granular differentiable fuzzy objective functions. *Expert Systems with Applications*, 240, 121891. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121891>
- Chen, W., Zhou, Z. (2019). Characterizations of the Solution Sets of Generalized Convex Fuzzy Optimization Problem. *Open Mathematics*, 17 (1), 52–70. <https://doi.org/10.1515/math-2019-0005>
- Diniz, M. M., Gomes, L. T., Bassanezi, R. C. (2021). Optimization of fuzzy-valued functions using Zadeh's extension principle. *Fuzzy Sets and Systems*, 404, 23–37. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2020.07.007>
- Khatua, D., Maity, K., Kar, S. (2020). A fuzzy production inventory control model using granular differentiability approach. *Soft Computing*, 25 (4), 2687–2701. <https://doi.org/10.1007/s00500-020-05329-1>
- Majeed, S. N. (2019). Fuzzy preinvexity via ranking value functions with applications to fuzzy optimization problems. *Journal of Interdisciplinary Mathematics*, 22 (8), 1485–1494. <https://doi.org/10.1080/09720502.2019.1706846>
- Oliva, D., Copado, P., Hinojosa, S., Panadero, J., Riera, D., Juan, A. A. (2020). Fuzzy Simheuristics: Solving Optimization Problems under Stochastic and Uncertainty Scenarios. *Mathematics*, 8 (12), 2240. <https://doi.org/10.3390/math8122240>
- Zhang, S., Chen, M., Zhang, W., Zhuang, X. (2020). Fuzzy optimization model for electric vehicle routing problem with time windows and recharging stations. *Expert Systems with Applications*, 145, 113123. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.113123>
- Ladj, A., Tayeb, F. B.-S., Varnier, C., Dridi, A. A., Selmane, N. (2019). Improved Genetic Algorithm for the Fuzzy Flowshop Scheduling Problem with Predictive Maintenance Planning. 2019 IEEE 28th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), 1300–1305. <https://doi.org/10.1109/isie.2019.8781464>
- Shao, Z., Shao, W., Pi, D. (2020). Effective heuristics and metaheuristics for the distributed fuzzy blocking flow-shop scheduling problem. *Swarm and Evolutionary Computation*, 59, 100747. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2020.100747>
- Raskin, L., Sira, O. (2016). Method of solving fuzzy problems of mathematical programming. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (4 (83)), 23–28. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.81292>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.322053

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A NUMERICAL APPROACH FOR OPTIMAL CONTROL OF OSCILLATIONS IN COUPLED SYSTEMS WITH DISTRIBUTED AND LUMPED PARAMETERS (p. 22–29)

Kamil Mamtiyev

Azerbaijan State University of Economics (UNEC), Baku, Azerbaijan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5842-6085>

Ulviyya Rzayeva

Azerbaijan State University of Economics (UNEC), Baku, Azerbaijan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5881-6633>

Aygun Abdulova

Azerbaijan State University of Economics (UNEC), Baku, Azerbaijan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7079-9677>

This study focuses on numerical solutions to control problems in oscillatory systems consisting of two distinct objects. The primary issue addressed is the effective modeling and control of oscillations in these systems, particularly through the interaction of two objects. The research yields significant results by demonstrating a method to transform the complex boundary value problem into a more manageable system of ordinary differential equations using the method of straight lines. The findings reveal the influence of boundary conditions on the dynamics of an object characterized by distributed parameters. The results' unique features include applying Pontryagin's maximum principle to solve the associated variational problem, effectively integrating the behavior of both objects in the system. The numerical approach adopted in this research simplifies the problem and enhances the precision of the solutions obtained. Moreover, the study examines the convergence of numerical methods, improving their applicability to practical scenarios. The computational results demonstrate the convergence of the functional and show that the gradient projection method provides a convergent sequence in the control space, even for ill-posed optimal control problems. The conditions under which these results are most applicable include scenarios where boundary effects play a critical role in system dynamics, offering a robust framework for further investigation and application in real-world systems. This work significantly contributes to the understanding of oscillatory systems and provides a foundation for future research in optimal control strategies, thereby advancing the field of dynamic system control.

Keywords: wave equations, oscillatory processes, method of successive approximations, controlled boundary effects.

References

- Herisanu, N., Marinca, B., Marinca, V. (2022). Dynamics of the Vibro-Impact Nonlinear Damped and Forced Oscillator under the Influence of the Electromagnetic Actuation. *Mathematics*, 10 (18), 3301. <https://doi.org/10.3390/math10183301>
- Bichri, A., Mahfoud, J., Belhaq, M. (2018). Electromagnetic Control of Nonlinear Behavior of an Excited Cantilever Beam in a Single Mode Approximation. *Journal of Vibration Testing and System Dynamics*, 2 (1), 1–8. <https://doi.org/10.5890/jvtsd.2018.03.001>
- Yoo, C.-H. (2017). Active Control of Aeroelastic Vibrations for Electromechanical Missile Fin Actuation Systems. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 40 (12), 3299–3306. <https://doi.org/10.2514/1.g002821>
- Alvarez, E., Cabrales, H., Castro, T. (2021). Optimal Control Theory for a System of Partial Differential Equations Associated with Stratified Fluids. *Mathematics*, 9 (21), 2672. <https://doi.org/10.3390/math9212672>
- Butkovsky, G. (1969). *Distributed Control Systems*. Elsevier. Available at: <https://ia902906.us.archive.org/7/items/in.ernet.dli.2015.134507/2015.134507.Distributed-Control-Systems.pdf>
- Kononenko, V. O. (1969). *Vibrating systems with a limited power supply*. Scripta Technica, 245.
- Egorov, A. I. (1965). Optimal processes in systems containing distributed parameter plants. *Avtomatika i Telemekhanika*, 26 (6), 977–994.
- Mamtiyev, K., Rzayeva, U. (2024). Finding and implementing the numerical solution of an optimal control problem for oscillations in a coupled objects system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (2 (128)), 64–74. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.301714>

9. Faltas, M. S., El-Sapa, S. (2018). Rectilinear oscillations of two spherical particles embedded in an unbounded viscous fluid. *Microsystem Technologies*, 25 (1), 39–49. <https://doi.org/10.1007/s00542-018-3928-9>
10. Sun, K., Wang, X., Guo, R. (2023). Stabilization of Nonlinear Systems with External Disturbances Using the DE-Based Control Method. *Symmetry*, 15 (5), 987. <https://doi.org/10.3390/sym15050987>
11. Guo, S., Qiu, B.-L., Zhu, C.-Q., Yang, Y.-Y. G., Wu, D., Liang, Q.-H., Han, N.-Y. (2016). Effects of comprehensive function of factors on retention behavior of microparticles in gravitational field-flow fractionation. *Journal of Chromatography B*, 1031, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2016.07.009>
12. Petersková, M., Valderrama, C., Gibert, O., Cortina, J. L. (2012). Extraction of valuable metal ions (Cs, Rb, Li, U) from reverse osmosis concentrate using selective sorbents. *Desalination*, 286, 316–323. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.11.042>
13. Mul, O. V., Torres, D. F. M. (2005). Analysis of vibrations in large flexible hybrid systems. *Nonlinear Analysis: Theory, Methods & Applications*, 63 (3), 350–363. <https://doi.org/10.1016/j.na.2005.05.024>
14. Karagülle, H., Malgaca, L., Dirilmiş, M., Akdağ, M., Yavuz, Ş. (2015). Vibration control of a two-link flexible manipulator. *Journal of Vibration and Control*, 23 (12), 2023–2034. <https://doi.org/10.1177/1077546315607694>
15. He, X., Li, D., Unjoh, S. (2023). Joint state–parameter estimation for structures with seismic isolation and damping systems: Theoretical observability and experimental verification. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 203, 110733. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2023.110733>
16. Li, S., Wang, C., Wu, S. (2024). Spindle oscillations emerge at the critical state of electrically coupled networks in the thalamic reticular nucleus. *Cell Reports*, 43 (10), 114790. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2024.114790>
17. Baetov, A. K., Beksultanov, Zh. T., Asanova, Zh. K., Soltokhulova, Zh. M. (2020). Optimum control of a quasilinear oscillatory system with distributed parameters. *Modern High Technologies*, 10, 9–16. <https://doi.org/10.17513/snt.38247>
18. Omar, N., Serra-Capizzano, S., Qaraad, B., Alharbi, F., Moaz, O., Elabbasy, E. M. (2024). More Effective Criteria for Testing the Oscillation of Solutions of Third-Order Differential Equations. *Axioms*, 13 (3), 139. <https://doi.org/10.3390/axioms13030139>
19. Henrion, D., Kružik, M., Weisser, T. (2019). Optimal control problems with oscillations, concentrations and discontinuities. *Automatica*, 103, 159–165. <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2019.01.030>
20. Diene, O., Bhaya, A. (2015). On the robustness of numerical algorithms for linear systems and signal processing in finite precision arithmetic. *International Journal of Adaptive Control and Signal Processing*, 29 (12), 1539–1560. <https://doi.org/10.1002/acs.2562>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.322460

THE DEVELOPMENT OF AN ELECTRONIC CIRCUIT SIMULATION SYSTEM USING VARIABLE TABULAR BASES (p. 30–40)

Kostyantyn Kharchenko

National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7334-8038>

Oleksandr Beznosyk

National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2775-6070>

Yaroslav Kornachevskyi

National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2525-6008>

Bogdan Bulakh

National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5880-6101>

Vadym Yaremenko

National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8557-6938>

The object of the study is a system for electronic circuit simulation using variable tabular bases, which optimizes the calculation processes in complex circuits. The work addressed the problem of creating models of electronic circuits with a convenient description of components in a linear system of equations.

A method for electronic circuit simulation using variable tabular bases is presented. The problem addressed is improving the efficiency of simulation of electronic circuits of varying complexity through the use of two approaches: the General Tabular Model (GTM) and the Hybrid Model 10 (HM10).

The results obtained demonstrate that the GTM provides a universal approach to modeling due to the rapid formulation of equations but leads to an increase in the matrix dimensions. In contrast, the HM10 significantly reduces the number of variables in the equations, although it requires additional computations to achieve complete results. The system architecture includes the ability to change the tabular basis or create a custom tabular basis to adapt to specific electronic circuit modeling tasks, thanks to the efficient use of Python libraries such as NumPy.

The features and distinctive characteristics of the proposed system are the variability of tabular bases for optimal problem-solving, as well as the modularity of the system, which ensures its flexibility and scalability. Additionally, the system allows adding new components and adapting algorithms to specific scenarios.

The practical application of the results covers educational processes, scientific research, as well as automated analysis and optimization of the design of complex electronic devices. The system is effective for working with complex circuits containing nonlinear components and provides fast solutions to algebraic equations. The obtained results showed that for a certain circuit configuration, the size of the model matrix can be 1.5 to 2 times smaller, which significantly reduces the number of calculations.

Keywords: electronic circuit simulation, circuit design, tabular bases, mathematical modelling, Python, NumPy.

References

1. Petrenko, A. I., Ladogubets, V. V., Tchkalov, V. V., Pudlowski, Z. J. (1997). ALLTED: A computer-aided engineering system for electronic circuit design. Melbourne Vic Australia: UNESCO International Centre for Engineering Education (UICEE), 205.
2. Tarabarov, S. B. (1998). Modeliuvannia elektronnykh skhem metodom formuvannia kompaktnoi matrytsi providnostei. *Visnyk NTUU "Kyivskyi politekhnichnyi instytut"*. Radiotekhnika, radioaparotobuduvannia, 32, 48–50. Available at: <https://radap.kpi.ua/radiotekhnika/article/view/968/923>
3. Pijnvandraat, J. G., Houben, S. H. M. J., ter Maten, E. J. W., Peters, J. M. F. (2006). Time domain analog circuit simulation. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 185 (2), 441–459. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2005.03.021>
4. Venturini, G. A SPICE-like electronic circuit simulator written in Python. GitHub. Available at: <https://github.com/ahkab/ahkab>
5. Kharchenko, K. V., Taranenko, A. V. (2022). Rozrobka dodatku dlia modeliuvannia ta analizu elektrichnykh kil. *Zbirnyk dopovidei I naukovo-praktychnoi konferentsiyi "Systemni nauky ta informatyka"*, 377–381. Available at: http://mmsa.kpi.ua/sites/default/files/systemni_nauky_ta_informatyka_2022.pdf

6. Razavi, B. (2016). Design of Analog CMOS Integrated Circuits. McGraw-Hill: Education, 800. Available at: https://www.academia.edu/76121731/Design_of_Analog_CMOS_Integrated_Circuits_Behzad_Razavi_z_lib_org
7. Sundararajan, D. (2022). Mathematical Modeling of Electrical Systems. Control Systems, 45–61. https://doi.org/10.1007/978-3-030-98445-8_3
8. Jovicic, A., Jereminov, M., Pileggi, L., Hug, G. (2018). An Equivalent Circuit Formulation for Power System State Estimation including PMUs. 2018 North American Power Symposium (NAPS), 1–6. <https://doi.org/10.1109/naps.2018.8600633>
9. Iyer, S. V. (2018). Simulating Nonlinear Circuits with Python Power Electronics. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-73984-7>
10. Krüger, M. (2024). Flexible and easy to use non-linear transient electric circuit simulator. GitLab. Available at: <https://gitlab.com/Makman2/respice/>
11. Sozański, K. (2024). Low-Cost Hardware Analog and Digital Real-Time Circuit Simulators for Developing Power Electronics Control Circuits. Energies, 17 (24), 6359. <https://doi.org/10.3390/en17246359>
12. Salehizadeh, M., Nouri, H. (2020). Circuit Modelling by Difference Equation: Pedagogical Advantages and Perspectives. Mathematical Modelling of Engineering Problems, 7 (1), 26–30. <https://doi.org/10.18280/mmep.070104>
13. Kharchenko, K., Beznosyk, O., Kornachevskyi, Y., Taranenko, A. Electronic, mechanic and etc. modeller. GitHub. Available at: <https://github.com/konst1970/dnipro>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.322627

DEVELOPMENT OF A COMBINED NEURAL NETWORK MODEL FOR EFFECTIVE SPECTROSCOPIC ANALYSIS (p. 41–51)

Yurii Bilak

Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5989-1643>

Antonina Reblian

Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2875-2197>

Roman Buchuk

Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4199-5583>

Pavlo Fedorka

Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9242-5588>

The object of this study is spectroscopic data from chemical, organic compounds, and physical experiments, characterized by signal complexity, low signal-to-noise ratio, and significant variability of acquisition conditions. The problem addressed is to improve the accuracy and stability of spectral data analysis in the tasks of identification and quantification of components, in particular under conditions of noise, variable baselines, and experimental parameters. The essence of the results is the designed optimized complex neural network model (CNN+LSTM), which provides high resistance to noise and variability of experimental parameters. The constructed neural network model of spectral analysis achieved concentration prediction accuracy at the level of $R^2=0.98$ with RMSE less than 5 %, which significantly exceeds conventional methods. The implementation includes the use of modern optimizers for stable learning and software implementation in Python using the TensorFlow/Keras libraries. The features and differences that made it possible to solve the problem under consideration include development of the algorithm of automatic normalization of spectra, construction of synthetic training data set, adaptation of the model to low signal-to-

noise ratio and resistance to changes under experimental conditions. The results are explained by the ability of the proposed neural network architecture to model nonlinear dependences, automatically allocate relevant features, and compensate for noise effects, which is critical for working with spectral data. The conditions of use in practice include pharmaceutical analysis tasks, environmental monitoring, physical and chemical analysis of complex multicomponent systems, especially with limited experimental resources and variable external factors.

Keywords: deep learning models, numerical modeling, optimization method, spectral analysis, signal processing.

References

1. Khayatzadeh Mahani, M., Chaloosi, M., Ghanadi Maragheh, M., Khanchi, A. R., Afzali, D. (2007). Comparison of Artificial Neural Networks with Partial Least Squares Regression for Simultaneous Determinations by ICP-AES. Chinese Journal of Chemistry, 25 (11), 1658–1662. <https://doi.org/10.1002/cjoc.200790306>
2. Liu, X., An, H., Cai, W., Shao, X. (2024). Deep learning in spectral analysis: Modeling and imaging. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 172, 117612. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2024.117612>
3. Primrose, M., Giblin, J., Smith, C., Anguita, M., Weedon, G. (2022). One dimensional convolutional neural networks for spectral analysis. Algorithms, Technologies, and Applications for Multispectral and Hyperspectral Imaging XXVIII, 12. <https://doi.org/10.1117/12.2618487>
4. Schuetzke, J., Szymanski, N. J., Reischl, M. (2023). Validating neural networks for spectroscopic classification on a universal synthetic dataset. Npj Computational Materials, 9 (1). <https://doi.org/10.1038/s41524-023-01055-y>
5. Liu, J., Osadchy, M., Ashton, L., Foster, M., Solomon, C. J., Gibson, S. J. (2017). Deep convolutional neural networks for Raman spectrum recognition: a unified solution. The Analyst, 142 (21), 4067–4074. <https://doi.org/10.1039/c7an01371j>
6. Marini, F., Bucci, R., Magri, A. L., Magri, A. D. (2008). Artificial neural networks in chemometrics: History, examples and perspectives. Microchemical Journal, 88 (2), 178–185. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2007.11.008>
7. Butler, K. T., Davies, D. W., Cartwright, H., Isayev, O., Walsh, A. (2018). Machine learning for molecular and materials science. Nature, 559 (7715), 547–555. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0337-2>
8. Mishra, P., Passos, D., Marini, F., Xu, J., Amigo, J. M., Gowen, A. A. et al. (2022). Deep learning for near-infrared spectral data modeling: Hypes and benefits. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 157, 116804. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2022.116804>
9. Saravanan, N., Ganesan, M. (2024). Spectral Analysis of Cellular Neural Network: Unveiling Network Parameters and Graph Characteristics. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4338706/v1>
10. Madden, M. G., Ryder, A. G. (2003). Machine learning methods for quantitative analysis of Raman spectroscopy data. Opto-Ireland 2002: Optics and Photonics Technologies and Applications, 4876, 1130. <https://doi.org/10.1117/12.464039>
11. Randolph, T. W. (2006). Scale-based normalization of spectral data. Cancer Biomarkers, 2 (3-4), 135–144. <https://doi.org/10.3233/cbm-2006-23-405>
12. Wei, J., Pan, S., Gao, W., Zhao, T. (2022). A dynamic object filtering approach based on object detection and geometric constraint between frames. IET Image Processing, 16 (6), 1636–1647. <https://doi.org/10.1049/ipr2.12436>
13. Wiatowski, T., Bolcskei, H. (2018). A Mathematical Theory of Deep Convolutional Neural Networks for Feature Extraction. IEEE Transactions on Information Theory, 64 (3), 1845–1866. <https://doi.org/10.1109/tit.2017.2776228>
14. Zhang, Z. (2018). Improved Adam Optimizer for Deep Neural Networks. 2018 IEEE/ACM 26th International Symposium on Quality of Service (IWQoS), 1–2. <https://doi.org/10.1109/iwqos.2018.8624183>

15. Zaheer, R., Shaziya, H. (2019). A Study of the Optimization Algorithms in Deep Learning. 2019 Third International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC). <https://doi.org/10.1109/icisc44355.2019.9036442>
16. Shao, X., Bian, X., Liu, J., Zhang, M., Cai, W. (2010). Multivariate calibration methods in near infrared spectroscopic analysis. *Analytical Methods*, 2 (11), 1662. <https://doi.org/10.1039/c0ay00421a>
17. Alsmeyer, F., Marquardt, W. (2004). Automatic Generation of Peak-Shaped Models. *Applied Spectroscopy*, 58 (8), 986–994. <https://doi.org/10.1366/0003702041655421>
18. Hrytsak, R., Shuaibov, O., Minya, O., Malinina, A., Shevera, I., Bilak, Y., Homoki, Z. (2024). Conditions for pulsed gas-discharge synthesis of thin tungsten oxide films from a plasma mixture of air with tungsten vapors. *Physics and Chemistry of Solid State*, 25 (4), 684–688. <https://doi.org/10.15330/pcss.25.4.684-688>
19. Shuaibov, O. K., Hrytsak, R. V., Minya, O. I., Malinina, A. A., Bilak, Yu. Yu., Gomoki, Z. T. (2022). Spectroscopic diagnostics of over-stressed nanosecond discharge plasma between zinc electrodes in air and nitrogen. *Journal of Physical Studies*, 26 (2). <https://doi.org/10.30970/jps.26.2501>
20. Bondar, I. I., Suran, V. V., Minya, O. Y., Shuaibov, O. K., Bilak, Yu. Yu., Shevera, I. V. et al. (2023). Synthesis of Surface Structures during Laser-Stimulated Evaporation of a Copper Sulfate Solution in Distilled Water. *Ukrainian Journal of Physics*, 68 (2), 138. <https://doi.org/10.15407/ujpe68.2.138>
21. Kozubovsky, V. R., Bilak, Yu. Yu. (2022). Express Analysis of Gas Mixtures Using a Spectral Correlator Based on the Fabry-Perot Interferometer. *Journal of Applied Spectroscopy*, 89 (3), 495–499. <https://doi.org/10.1007/s10812-022-01385-7>
22. Kozubovsky, V., Bilak, Y. (2021). Phase Methods in Absorption Spectroscopy. *Ukrainian Journal of Physics*, 66 (8), 664. <https://doi.org/10.15407/ujpe66.8.664>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.322626

IDENTIFYING THE IMPACT OF THE COMPLEXITY OF DATASETS IN BAYESIAN OPTIMIZED XGBOOST ON THE PERFORMANCE OF CLASSIFICATIONS FOR IMBALANCED CLASS DISTRIBUTION DATASETS (p. 52–63)

Sutarman

Universitas Sumatera Utara, North Sumatera, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3619-1303>

Putri Khairiah Nasution

Universitas Sumatera Utara, North Sumatera, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4297-3694>

Katrin Jenny Sirait

Universitas Sumatera Utara, North Sumatera, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2094-7355>

Cindy Novita Yolanda Panjaitan

Universitas Sumatera Utara, North Sumatera, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8351-1317>

This study explores how dataset complexity affects the performance of XGBoost models optimized using Bayesian methods, focusing on datasets characterized by imbalanced class distributions. The main challenge is accurately identifying minority classes, which are often misdiagnosed due to the dominance of majority classes, impairing predictive power. Additionally, dataset complexity, as indicated by the coefficient of variation (14.64 % to 85.68 %), does not consistently correlate with improved model performance, highlighting the need for more targeted methods. High-dimensional datasets may not be as accurate as simpler ones and require the use of advanced approaches. By using Bayesian optimization, it is possible to fine-tune hyperpa-

rameters and improve classification performance on different types of datasets. This indicates that the selection of appropriate resampling techniques to match the characteristics of the dataset is critical, and that hyperparameter optimization plays an important role in building models with high accuracy. The applications extend to areas such as fraud detection and other fields where the categorization of minority groups is important. Through the use of efficient resampling techniques and advanced optimization methods, this study offers a comprehensive solution to the challenges of imbalanced datasets, enhancing the reliability of machine learning solutions. The variation in resampling techniques and optimizing model performance metrics can be attributed to the distribution of classes, the number of features, the complexity, and the characteristics of the datasets.

Keywords: Bayesian optimization, eXtreme gradient boosting, imbalanced datasets, complexity of datasets, classification, confusion matrix, resampling techniques, hyperparameter tuning, performance evaluation, minority class identification.

References

1. Ghosh, K., Bellinger, C., Corizzo, R., Branco, P., Krawczyk, B., Japkowicz, N. (2022). The class imbalance problem in deep learning. *Machine Learning*, 113 (7), 4845–4901. <https://doi.org/10.1007/s10994-022-06268-8>
2. Rezvani, S., Wang, X. (2023). A broad review on class imbalance learning techniques. *Applied Soft Computing*, 143, 110415. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110415>
3. Moniz, N., Cerqueira, V. (2021). Automated imbalanced classification via meta-learning. *Expert Systems with Applications*, 178, 115011. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115011>
4. Magris, M., Iosifidis, A. (2023). Bayesian learning for neural networks: an algorithmic survey. *Artificial Intelligence Review*, 56 (10), 11773–11823. <https://doi.org/10.1007/s10462-023-10443-1>
5. Pereira, R. M., Costa, Y. M. G., Silla, C. N. (2021). Handling imbalance in hierarchical classification problems using local classifiers approaches. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 35 (4), 1564–1621. <https://doi.org/10.1007/s10618-021-00762-8>
6. Ye, H.-J., Chen, H.-Y., Zhan, D.-C., Chao, W.-L. (2020). Identifying and Compensating for Feature Deviation in Imbalanced Deep Learning. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2001.01385>
7. Guan, S., Fu, N. (2022). Class imbalance learning with Bayesian optimization applied in drug discovery. *Scientific Reports*, 12 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05717-7>
8. Banchhor, C., Srinivasu, N. (2021). Analysis of Bayesian optimization algorithms for big data classification based on Map Reduce framework. *Journal of Big Data*, 8 (1). <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00464-4>
9. Albahli, S. (2023). Efficient hyperparameter tuning for predicting student performance with Bayesian optimization. *Multimedia Tools and Applications*, 83 (17), 52711–52735. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-17525-w>
10. Wang, X., Jin, Y., Schmitt, S., Olhofer, M. (2023). Recent Advances in Bayesian Optimization. *ACM Computing Surveys*, 55 (13s), 1–36. <https://doi.org/10.1145/3582078>
11. Nayak, J., Naik, B., Dash, P. B., Vimal, S., Kadry, S. (2022). Hybrid Bayesian optimization hypertuned catboost approach for malicious access and anomaly detection in IoT nomalyframework. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 36, 100805. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2022.100805>
12. Guembe, B., Misra, S., Azeta, A. (2024). Federated Bayesian optimization XGBoost model for cyberattack detection in internet of medical things. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 193, 104964. <https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2024.104964>
13. Yan, S., Zhao, Z., Liu, S., Zhou, M. (2024). BO-SMOTE: A Novel Bayesian-Optimization-Based Synthetic Minority Oversampling Technique.

- IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 54 (4), 2079–2091. <https://doi.org/10.1109/tsmc.2023.3335241>
14. Davis, D., Rodriguez, L. (2024). Enhancing algorithm interpretability and accuracy with borderline-SMOTE and Bayesian optimization. *Journal of Computer Technology and Software*, 3 (2), 6–13. Available at: <https://ashpress.org/index.php/jcts/article/view/24>
 15. Bates, J. E., Shepard, H. K. (1993). Measuring complexity using information fluctuation. *Physics Letters A*, 172 (6), 416–425. [https://doi.org/10.1016/0375-9601\(93\)90232-o](https://doi.org/10.1016/0375-9601(93)90232-o)
 16. Wang, L. (2022). Imbalanced credit risk prediction based on SMOTE and multi-kernel FCM improved by particle swarm optimization. *Applied Soft Computing*, 114, 108153. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.108153>
 17. Wilson, D. R., Martinez, T. R. (2000). Reduction Techniques for Instance-Based Learning Algorithms. *Machine Learning*, 38, 257–286. <https://doi.org/10.1023/a:1007626913721>
 18. Yang, F., Wang, K., Sun, L., Zhai, M., Song, J., Wang, H. (2022). A hybrid sampling algorithm combining synthetic minority over-sampling technique and edited nearest neighbor for missed abortion diagnosis. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 22 (1). <https://doi.org/10.1186/s12911-022-02075-2>
 19. Snoek, J., Larochelle, H., Adams, R. P. (2012). Practical Bayesian optimization of machine learning algorithms. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1206.2944>
 20. Frazier, P. I. (2018). A Tutorial on Bayesian Optimization. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1807.02811>
 21. Klein, A., Falkner, S., Bartels, S., Hennig, P., Hutter, F. (2017). Fast Bayesian optimization of machine learning hyperparameters on large datasets. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1605.07079>
 22. Akiba, T., Sano, S., Yanase, T., Ohta, T., Koyama, M. (2019). Optuna. *Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining*, 2623–2631. <https://doi.org/10.1145/3292500.3330701>
 23. Chen, T., Guestrin, C. (2016). XGBoost. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 785–794. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>
 24. Szeghalmy, S., Fazekas, A. (2023). A Comparative Study of the Use of Stratified Cross-Validation and Distribution-Balanced Stratified Cross-Validation in Imbalanced Learning. *Sensors*, 23 (4), 2333. <https://doi.org/10.3390/s23042333>
 25. Vujovic, Ž. Đ. (2021). Classification Model Evaluation Metrics. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12 (6). <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2021.0120670>
 26. Salmi, M., Atif, D., Oliva, D., Abraham, A., Ventura, S. (2024). Handling imbalanced medical datasets: review of a decade of research. *Artificial Intelligence Review*, 57 (10). <https://doi.org/10.1007/s10462-024-10884-2>
 27. Khadka, K., Chandrasekaran, J., Lei, Y., Kacker, R. N., Kuhn, D. R. (2024). A Combinatorial Approach to Hyperparameter Optimization. *Proceedings of the IEEE/ACM 3rd International Conference on AI Engineering – Software Engineering for AI*, 140–149. <https://doi.org/10.1145/3644815.3644941>
 28. Chai, P., Hou, L., Zhang, G., Tushar, Q., Zou, Y. (2024). Generative adversarial networks in construction applications. *Automation in Construction*, 159, 105265. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105265>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.322629

DEVELOPMENT OF HETEROGENEOUS DATA PROCESSING METHOD IN ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEMS (p. 64–71)

Salman Rasheed Owaid

Al Taff University College, Karbala, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1189-9707>

Svitlana Kashkevich

State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4448-3839>

Andrii Shyshatskyi

State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6731-6390>

Hryhorii Radzivilov

Military Institute of Telecommunications and Informatization
named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6047-1897>

Oleg Sova

National University of Defense of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7200-8955>

Artur Zarubenko

Military Institute of Telecommunications and Informatization
named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7616-6416>

Andrii Veretnov

Central Scientifically-Research Institute of Armaments and Military
Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0160-7325>

Roman Lazuta

National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3254-9690>

Oleksii Noskov

Military Institute of Telecommunications and Informatization
named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8047-3029>

Anastasiia Voznytsia

State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3767-7354>

The object of the study is heterogeneous data in organizational-technical systems. The subject of the study is the process of heterogeneous data processing. The problem of this study is enhancing the efficiency of heterogeneous data processing in organizational-technical systems while ensuring a predefined level of reliability, regardless of the volume of incoming data. A method for heterogeneous data processing in organizational-technical systems has been developed. The originality of the method lies in the use of additional improved procedures, which allow:

- achieving the placement of the initial population of agents in the combined algorithm swarm and their initial position in the search space, considering the uncertainty level of input data circulating in the organizational-technical system. This is achieved using correction coefficients;
- accounting for the initial velocity of each agent in the combined algorithm swarm, enabling search prioritization in the corresponding search space (across elements and components of the organizational-technical system);
- determining the feasibility of decisions in heterogeneous data processing, considering external factors, which reduces the solution search time;
- ability to calculate the required computational resources, determining the additional resources needed in case existing computational capacity is insufficient.

A practical implementation of the proposed method was tested on heterogeneous data processing in an operational military task force, demonstrating: a 14–20 % increase in decision-making efficiency due to the integration of additional procedures; a decision reliability level maintained at 0.9.

Keywords: heterogeneous data, unimodal functions, multimodal functions, destabilizing factors, heterogeneous grouping.

References

- Bashkyrov, O. M., Kostyna, O. M., Shyshatskyi, A. V. (2015). Rozvytok integrovanykh system zviazku ta peredachi danykh dlia potreb Zbroinykh Syl. Ozbroyennia ta viyskova tekhnika, 1, 35–39. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt_2015_1_7
- Dudnyk, V., Sinenko, Y., Matsyk, M., Demchenko, Y., Zhyvotovskiy, R., Repilo, I. et al. (2020). Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (2 (105)), 37–47. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
- Sova, O., Shyshatskyi, A., Salnikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., Hrokholskyi, Y. (2021). Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment. EUREKA: Physics and Engineering, 4, 30–40. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>
- Pievtsov, H., Turinskyi, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., Shyshatskyi, A. (2020). Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. EUREKA: Physics and Engineering, 4, 78–89. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>
- Zuiev, P., Zhyvotovskiy, R., Zvieriev, O., Hatsenko, S., Kuprii, V., Nakonechnyi, O. et al. (2020). Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (9 (106)), 14–23. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>
- Shyshatskyi, A. (2020). Complex Methods of Processing Different Data in Intellectual Systems for Decision Support System. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, 9 (4), 5583–5590. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/206942020>
- Yeromina, N., Kurban, V., Mykus, S., Peredrii, O., Voloshchenko, O., Kosenko, V. et al. (2021). The Creation of the Database for Mobile Robots Navigation under the Conditions of Flexible Change of Flight Assignment. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 11 (5), 37–44. https://doi.org/10.46338/ijetae0521_05
- Shyshatskyi, A., Stasiuk, T., Odarushchenko, E., Berezsanska, K., Demianenko, H. (2023). Method of assessing the state of hierarchical objects based on bio-inspired algorithms. Advanced Information Systems, 7 (3), 44–48. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.3.06>
- Ko, Y.-C., Fujita, H. (2019). An evidential analytics for buried information in big data samples: Case study of semiconductor manufacturing. Information Sciences, 486, 190–203. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.079>
- Ramaji, I. J., Memari, A. M. (2018). Interpretation of structural analytical models from the coordination view in building information models. Automation in Construction, 90, 117–133. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025>
- Pérez-González, C. J., Colebrook, M., Roda-García, J. L., Rosa-Remedios, C. B. (2019). Developing a data analytics platform to support decision making in emergency and security management. Expert Systems with Applications, 120, 167–184. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023>
- Chen, H. (2018). Evaluation of Personalized Service Level for Library Information Management Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process. Procedia Computer Science, 131, 952–958. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.233>
- Chan, H. K., Sun, X., Chung, S.-H. (2019). When should fuzzy analytic hierarchy process be used instead of analytic hierarchy process? Decision Support Systems, 125, 113114. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113114>
- Osman, A. M. S. (2019). A novel big data analytics framework for smart cities. Future Generation Computer Systems, 91, 620–633. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.046>
- Gödri, I., Kardos, C., Pfeiffer, A., Vancza, J. (2019). Data analytics-based decision support workflow for high-mix low-volume production systems. CIRP Annals, 68 (1), 471–474. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.001>
- Harding, J. L. (2013). Data quality in the integration and analysis of data from multiple sources: some research challenges. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-2/W1, 59–63. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-2-w1-59-2013>
- Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. International Journal of Man-Machine Studies, 24 (1), 65–75. [https://doi.org/10.1016/s0020-7373\(86\)80040-2](https://doi.org/10.1016/s0020-7373(86)80040-2)
- Koval, M., Sova, O., Shyshatskyi, A., Artabaiev, Y., Garashchuk, N., Yivzhenko, Y. et al. (2022). Improving the method for increasing the efficiency of decision-making based on bio-inspired algorithms. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (4 (120)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268621>
- Maccarone, A. D., Brzorad, J. N., Stonel, H. M. (2008). Characteristics and Energetics of Great Egret and Snowy Egret Foraging Flights. Waterbirds, 541. <https://doi.org/10.1675/1524-4695-31.4.541>
- Litvinenko, O., Kashkevich, S., Shyshatskyi, A., Dmytriieva, O., Neronov, S., Plekhova, G. et al.; Shyshatskyi, A. (Ed.) (2024). Information and control systems: modelling and optimizations. Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, 180. <https://doi.org/10.15587/978-617-8360-04-7>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.322992

MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION OF A TWO-STAGE HELICAL GEARBOX WITH DOUBLE GEARS IN SECOND STAGE USING SAW TECHNIQUE TO REDUCE BOTTOM AREA AND ENHANCE EFFICIENCY (p. 72–80)

Binh Duc Vu

Viet Tri University of Industry, Viet Tri, Vietnam
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6289-8546>

Hung Quoc Tran

Hanoi University of Industry, Hanoi, Vietnam
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7517-0328>

Thanh Van Dinh

East Asia University of Technology, Hanoi, Vietnam
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5527-001X>

Trang Van Nguyen

Thai Nguyen University of Technology, Thai Nguyen, Vietnam
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6491-9737>

Minh Khac Nguyen

Thai Nguyen University of Technology, Thai Nguyen, Vietnam
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4917-6525>

Two-stage helical gearboxes featuring two gears in the second stage are widely used across various industries. This gearbox design helps enhanced load capacity, increases consistent force distribution, and minimizes operational noise. One significant challenge in the design of this type of gearbox is the simultaneous optimization of multiple design criteria, including transmission efficiency and overall size. Optimizing gearbox design involves more than selecting an appropriate gear configuration; it necessitates a complete approach that balances performance with size, ensures sustainable operation, and minimizes manufacturing costs. This study was conducted to develop a method for solving the multi-objective optimization problem (MOOP) related to the design of a two-stage helical gearbox (TSHG) containing double gears in the second stage (DGSS). The primary focus is on two single-objective functions: maximizing gearbox efficiency and

minimizing the gearbox bottom area. This study investigates three primary design parameters: the gear ratio of the first stage (u_1), the gear width coefficient of the first stage (X_{ba1}), and second stage (X_{ba2}). The optimization process was carried out in two distinct stages. The initial phase focused on the single-objective optimization problem aimed at minimizing the gap among the variable levels. The second stage concentrated on dealing with the MOOP to identify the optimal design parameters. The Simple Additive Weighting (SAW) method was employed to solve the multi-criteria decision-making (MCDM) problem, while the MEREC technique was utilized to establish the weights of the criteria. The implementation of SAW in this context introduces a novel methodology that streamlines the identification of the optimal solution while enhancing the precision of the outcomes. Moreover, addressing the MOOP problem in a two-stage approach reduces the solution process and enhances the precision of the outcomes. The proposed optimized values of the primary design parameters aim to enhance gearbox efficiency and maximize installation space, thereby facilitating potential applications across diverse industries.

Keywords: SAW method, MEREC method, helical gearbox, gear ratio, gearbox efficiency, gearbox bottom area, MCDM, MOOP.

References

- Khai, D. Q., Linh, N. H., Danh, T. H., Tan, T. M., Cuong, N. M., Hien, B. T. et al. (2022). Calculating Optimum Main Design Factors of a Two-Stage Helical Gearboxes for Minimum Gearbox Mass. *Advances in Engineering Research and Application*, 314–325. https://doi.org/10.1007/978-3-031-22200-9_34
- Jelaska, D. (2012). *Gears and Gear Drives*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118392393>
- Le, X.-H., Vu, N.-P. (2023). Multi-Objective Optimization of a Two-Stage Helical Gearbox Using Taguchi Method and Grey Relational Analysis. *Applied Sciences*, 13 (13), 7601. <https://doi.org/10.3390/app13137601>
- Vu, D.-B., Tran, H.-D., Dinh, V.-T., Vu, D., Vu, N.-P., Nguyen, V.-T. (2024). Solving a Multi-Objective Optimization Problem of a Two-Stage Helical Gearbox with Second-Stage Double Gear Sets Using the MAIRCA Method. *Applied Sciences*, 14 (12), 5274. <https://doi.org/10.3390/app14125274>
- Dinh, V.-T., Tran, H.-D., Vu, D.-B., Vu, D., Vu, N.-P., Do, T.-T. (2024). Multi-Objective Optimization for Finding Main Design Factors of a Two-Stage Helical Gearbox with Second-Stage Double Gear Sets Using the EAMR Method. *Symmetry*, 16 (7), 783. <https://doi.org/10.3390/sym16070783>
- Dinh, V.-T., Tran, H.-D., Tran, Q.-H., Vu, D.-B., Vu, D., Vu, N.-P., Nguyen, T.-T. (2024). Multi-Objective Optimization of a Two-Stage Helical Gearbox Using MARCOS Method. *Designs*, 8 (3), 53. <https://doi.org/10.3390/designs8030053>
- Abuid, B. A., Ameen, Y. M. (2003). Procedure for Optimum Design of a Two-Stage Spur Gear System. *JSME International Journal Series C*, 46 (4), 1582–1590. <https://doi.org/10.1299/jsmec.46.1582>
- Wang, H., Wang, H.-P. (1994). Optimal engineering design of spur gear sets. *Mechanism and Machine Theory*, 29 (7), 1071–1080. [https://doi.org/10.1016/0094-114x\(94\)90074-4](https://doi.org/10.1016/0094-114x(94)90074-4)
- Yokota, T., Taguchi, T., Gen, M. (1998). A solution method for optimal weight design problem of the gear using genetic algorithms. *Computers & Industrial Engineering*, 35 (3-4), 523–526. [https://doi.org/10.1016/s0360-8352\(98\)00149-1](https://doi.org/10.1016/s0360-8352(98)00149-1)
- Huang, H.-Z., Tian, Z.-G., Zuo, M. J. (2005). Multiobjective optimization of three-stage spur gear reduction units using interactive physical programming. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 19 (5), 1080–1086. <https://doi.org/10.1007/bf02984029>
- Golabi, S., Fesharaki, J. J., Yazdipoor, M. (2014). Gear train optimization based on minimum volume/weight design. *Mechanism and Machine Theory*, 73, 197–217. <https://doi.org/10.1016/j.mechmach-theory.2013.11.002>
- Patil, M., Ramkumar, P., Shankar, K. (2017). Multi-Objective Optimization of Spur Gearbox with Inclusion of Tribological Aspects. *Journal of Friction and Wear*, 38 (6), 430–436. <https://doi.org/10.3103/s1068366617060101>
- Liu, S., Li, B., Gan, R., Xu, Y., Yang, G. (2023). Multi-Objective Optimization of Two-Stage Helical Pairs in Helical Hydraulic Rotary Actuator Using Ensemble of Metamodels and NSGA-II. *Actuators*, 12 (10), 385. <https://doi.org/10.3390/act12100385>
- Alam, J., Panda, S. (2021). A comprehensive study on multi-objective design optimization of spur gear. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 51 (9), 5272–5298. <https://doi.org/10.1080/15397734.2021.1996246>
- Istenes, G., Polák, J. (2024). Investigating the Effect of Gear Ratio in the Case of Joint Multi-Objective Optimization of Electric Motor and Gearbox. *Energies*, 17 (5), 1203. <https://doi.org/10.3390/en17051203>
- Hung, T. Q., Tung, L. A. (2023). Application of Taguchi Technique and Grey Relational Analysis for Multi-Target Optimization of Two-stage Helical Gearboxes. *Advances in Image and Video Processing*, 11 (6), 372–387. <https://doi.org/10.14738/aivp.116.16104>
- Huy, T. Q., Binh, N. V., Thanh, D. V., Danh, T. H., Trang, N. V. (2023). Optimization of a Two-stage Helical Gearbox with Second Stage Double Gear Sets to Reduce Gearbox Mass and Increase Gearbox Efficiency. *Wseas Transactions on Applied and Theoretical Mechanics*, 18, 287–298. <https://doi.org/10.37394/232011.2023.18.27>
- Dinh, V.-T., Tran, H.-D., Bui, T.-D., Vu, D.-B., Vu, D., Vu, N.-P., Truong, T.-T.-H. (2024). Multi-Objective Optimization of a Two-Stage Helical Gearbox with Second Stage Double Gear-Sets Using TOPSIS Method. *Processes*, 12 (6), 1160. <https://doi.org/10.3390/pr12061160>
- Chat, T., Uyen, L. V. (2007). *Design and calculation of Mechanical Transmissions Systems*. Vol. 1. Hanoi: Educational Republishing House.
- Dinh, V.-T., Tran, H.-D., Vu, D.-B., Vu, D., Vu, N.-P., Luu, A.-T. (2024). Application of a Multi-Criterion Decision-Making Method for Solving the Multi-Objective Optimization of a Two-Stage Helical Gearbox. *Machines*, 12 (6), 365. <https://doi.org/10.3390/machines12060365>
- Hartati, S., Harjoko, A., Wardoyo, R., Kusumadewi, S. (2006). Fuzzy multi-attribute decision making (Fuzzy MADM). *Yogyakarta: Graha Ilmu*, 364.
- Keshavarz-Ghorabae, M. (2021). Assessment of distribution center locations using a multi-expert subjective-objective decision-making approach. *Scientific Reports*, 11 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98698-y>

АНОТАЦІЇ

MATHEMATICS AND CYBERNETICS – APPLIED ASPECTS

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.322263

РОЗРОБКА МЕТОДУ ФОРМУВАННЯ СТІЙКОГО МОБІЛЬНОГО КЛАСТЕРА ТУМАННОГО ШАРУ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ (с. 6–14)**Г. А. Кучук, О. О. Можаяев, С. А. Тюленев, М. О. Можаяев, Н. Г. Кучук, Л. П. Тимощик, Ю. М. Онищенко, В. В. Тулупов, Т. М. Бикова, В. Є. Рог**

Об'єктом дослідження є процес кластеризації туманного шару Інтернету речей (IoT) з високою і надвисокою щільністю.

Вирішувалась проблема підвищення стійкості мобільних компонент туманного шару за рахунок модифікації методу кластеризації.

В процесі проведення досліджень розроблений підхід до формування архітектури мобільної компоненти туманного шару IoT. При розробці враховувались децентралізованість туманного шару та специфічні особливості мобільних пристроїв IoT. Це дозволило запропонувати чотирирівневу архітектуру, яка на відміну від стандартної містить окремі мобільні кластери на нижньому рівні туманних пристроїв.

Запропонована модель мобільного кластера туманного шару, яка враховує випадковість руху мобільних пристроїв IoT та базується на точковому процесі Томаса. На відміну від існуючих моделей вона враховує як просторові, так і стійкісні показники компонент мобільного кластера. Дана модель дозволила модифікувати стандартний алгоритм кластеризації FOREL. Модифікація проведена за рахунок введення вагових коефіцієнтів при знаходженні положення центру мобільного кластера. Запропонований метод підвищує стійкість мобільного кластера туманного шару IoT з високою і надвисокою щільністю. Дослідження запропонованого методу показали, що з підвищенням середнього відносного відхилення пристроїв IoT від запланованого руху стійкість структури мобільного кластера підвищується. Отримані результати дослідження можна пояснити наближенням центру мобільного кластера до найбільш нестійких його компонент. Запропонований метод можна використовувати при кластеризації туманного шару Інтернету речей з мобільними компонентами. Метод є ефективним при середньому відхиленні руху мобільних пристроїв IoT від запланованого руху не більше, ніж 20 % радіусу кластера.

Ключові слова: Інтернет речей, кластеризація, мобільний пристрій, стійкість, надвисока щільність, хмарна інфраструктура, туманні обчислення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.322367

РОЗРОБКА УНІВЕРСАЛЬНОГО МЕТОДУ ОПТИМІЗАЦІЇ В УМОВАХ НЕЧІТКИХ ВИХІДНИХ ДАНИХ (с. 15–21)**Л. Г. Раскін, О. В. Сіра, Л. В. Сухомлин, В. В. Карпенко, В. В. Власенко**

Об'єкт дослідження – метод оптимізації за умов, коли вихідні дані (параметри системи чи середовища, у якій функціонує система) не визначено точно. Проблема, що виникає при цьому, пов'язана з відсутністю універсальних математичних методів, що вирішують оптимізаційні завдання в умовах невизначеності вихідних даних. Для вирішення цих завдань пропонуються підходи, що базуються на перетворенні вихідних нечітких завдань до чітких завдань математичного програмування. При цьому як шуканий результат пропонуються або розв'язання задачі оптимізації «в середньому», або рішення, отримані для екстремальних значень неточно заданих параметрів задачі. Помилка одержуваного при цьому рішення не прогнозована.

У роботі запропоновано альтернативний підхід до вирішення оптимізаційних завдань за умов нечіткості вихідних даних. Метод заснований на використанні мультиплікативної згортки цільової функції задачі та набору функцій належності нечітких параметрів. Особливість методу в тому, що він стійкий щодо можливого розмаїття аналітичних описів цільової функції задачі та забезпечує отримання адекватного рішення, що враховує реальну невизначеність вихідних даних. Принципова особливість методу: спосіб його побудови та обчислювальна схема його реалізації ніяк не залежать від типу, характеру та складності аналітичного опису цільової функції вихідної задачі. При цьому для реалізації запропонованої оптимізаційної процедури достатньо мати можливість розрахунку значення цільової функції на будь-якому наборі її змінних. Показано, що у всіх випадках вихідне завдання з нечіткістю вихідних даних перетворюється на звичайну детерміновану задачу оптимізації, що вирішується відомими методами. Наведено приклад аналітичного розв'язання задачі.

Ключові слова: метод оптимізації, нечіткі вихідні дані, розробка підходу.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.322053

РОЗРОБКА І РЕАЛІЗАЦІЯ ЧИСЕЛЬНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ КОЛИВАННЯМИ У ЗВ'ЯЗАНИХ СИСТЕМАХ З РОЗПОДІЛЕНИМИ ТА ЗОСЕРЕДЖЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ (с. 22–29)**Kamil Mamtiyev, Ulviyya Rzayeva, Aygun Abdulova**

Дослідження присвячене чисельним рішенням задач управління в коливальних системах, що складаються з двох різних об'єктів. Основним завданням є ефективне моделювання та управління коливаннями в цих системах, зокрема, через взаємодію двох об'єктів. В ході дослідження отримані значущі результати, демонструючи метод перетворення складної крайової задачі в більш керовану систему звичайних диференціальних рівнянь з використанням методу прямих. Одержані дані показують вплив граничних умов на динаміку об'єкта, що характеризується розподіленими параметрами. Унікальність результатів полягає в застосуванні принципу максимуму Понтрягіна для вирішення пов'язаної варіаційної задачі, що дозволяє ефективно інтегрувати поведінку обох об'єктів у системі. Прийнятий чисельний підхід спрощує завдання і підвищує точність одержуваних рішень. Крім того, у дослідженні розглядається збіжність чисельних методів, що покращує їх застосовність у практичних сценаріях. Результати обчислень демонструють збіжність функціоналу і показують, що метод проекції градієнта забезпечує збіжну послідовність в просторі управління навіть для некоректно

поставлених задач оптимального управління. Умови, за яких ці результати є найбільш застосовними, включають сценарії, де крайові ефекти відіграють ключову роль у динаміці системи, надаючи надійну основу для подальшого вивчення та застосування в реальних системах. Дана робота здійснює значний внесок у розуміння коливальних систем і забезпечує основу для майбутніх досліджень в області стратегій оптимального управління, сприяючи розвитку області управління динамічними системами.

Ключові слова: хвильові рівняння, коливальні процеси, метод послідовних наближень, керовані крайові ефекти.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.322460

РОЗРОБКА СИСТЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ СХЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗМІННИХ ТАБЛИЧНИХ БАЗИСІВ (с. 30–40)

К. В. Харченко, О. Ю. Безносик, Я. І. Корначевський, Б. В. Булах, В. С. Яременко

Об'єктом дослідження є система моделювання електронних схем із використанням змінних табличних базисів, що дозволяє оптимізувати процеси розрахунків у складних схемах. У роботі вирішувалась проблема створення моделей електронних схем зі зручним описом компонентів в лінійній системі рівнянь.

Представлено підхід до моделювання електронних схем з використанням змінних табличних базисів. Проблема, що вирішувалася, полягає у підвищенні ефективності моделювання електронних схем різної складності шляхом використання двох підходів: Загальної табличної моделі (ЗТМ) та Гібридної моделі 10 (ГМ10).

Отримані результати демонструють, що ЗТМ забезпечує універсальний підхід до моделювання завдяки швидкому формуванню рівнянь, але призводить до збільшення розмірності матриць. Натомість ГМ10 дозволяє значно зменшити кількість змінних у рівняннях, хоча потребує додаткових обчислень для досягнення повних результатів. До архітектури системи закладено можливість змінювати табличний базис або створювати власний табличний базис для адаптації до конкретних задач моделювання електронних схем завдяки ефективному використанню бібліотек Python, таких як NumPy.

Особливостями та відмінними рисами запропонованої системи є варіативність табличних базисів для оптимального вирішення задач, а також модульність системи, що забезпечує її гнучкість та масштабованість. Також система дозволяє додавати нові компоненти та адаптувати алгоритми під конкретні сценарії.

Сфера практичного використання отриманих результатів охоплює навчальні процеси, наукові дослідження, а також автоматизований аналіз та оптимізацію проектування складних електронних пристроїв. Система ефективна в умовах роботи зі складними схемами, що містять нелінійні компоненти, і забезпечує швидке розв'язання алгебраїчних рівнянь. Отримані результати показали, що для певного складу схем розміри матриць моделі можуть бути в 1.5–2 рази меншими, що суттєво зменшує кількість розрахунків.

Ключові слова: моделювання електронних схем, схемотехніка, табличні базиси, математичне моделювання, Python, NumPy.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.322627

РОЗРОБКА КОМБІНОВАНОЇ МОДЕЛІ НЕЙРОМЕРЕЖІ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО СПЕКТРОСКОПІЧНОГО АНАЛІЗУ (с. 41–51)

Ю. Ю. Білак, А. М. Реблян, Р. Ю. Бучук, П. П. Федорка

Об'єктом дослідження є спектроскопічні дані хімічних, органічних сполук та фізичних експериментів, що характеризуються складністю сигналів, низьким співвідношенням сигнал/шум і значною варіативністю умов знімання. Проблема, що вирішувалася, – підвищення точності та стійкості аналізу спектральних даних у задачах ідентифікації та кількісного визначення компонентів, зокрема за умов шуму, змінних базових ліній та експериментальних параметрів. Суть отриманих результатів полягає у розробці оптимізованої комплексної моделі нейромережі (CNN+LSTM), яка забезпечує високу стійкість до шуму та варіативності експериментальних параметрів. Розроблена нейромережева модель спектрального аналізу досягла точності прогнозування концентрації на рівні $R^2 = 0.98$ при RMSE менше 5 %, що значно перевершує традиційні методи. Реалізація включає використання сучасних оптимізаторів для стабільного навчання та програмне впровадження на Python із застосуванням бібліотек TensorFlow/Keras. Особливості та відмінності, які дозволили вирішити зазначену проблему, включають розробку алгоритму автоматичної нормалізації спектрів, створення синтетичного навчального набору даних, адаптацію моделі до низького співвідношення сигнал/шум і стійкість до змін експериментальних умов. Отримані результати пояснюються здатністю запропонованої архітектури нейромережі моделювати нелінійні залежності, автоматично виділяти релевантні ознаки та компенсувати шумові впливи, що є критичним для роботи зі спектральними даними. Умови використання на практиці включають задачі фармацевтичного аналізу, екологічний моніторинг, фізичний та хімічний аналіз складних багатокомпонентних систем, особливо за обмежених експериментальних ресурсів і змінних зовнішніх факторів.

Ключові слова: моделі глибокого навчання, чисельне моделювання, метод оптимізації, спектральний аналіз, обробка сигналів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.322626

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ СКЛАДНОСТІ НАБОРІВ ДАНИХ ПРИ ВИКОРИСТАННІ МЕТОДУ XGBOOST НА ОСНОВІ БАЙЄСІВСЬКОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ КЛАСИФІКАЦІЇ НАБОРІВ ДАНИХ З НЕЗБАЛАНОВАНИМ РОЗПОДІЛОМ КЛАСІВ (с. 52–63)

Sutarman, Putri Khairiah Nasution, Katrin Jenny Sirait, Cindy Novita Yolanda Panjaitan

У дослідженні розглядається вплив складності набору даних на продуктивність моделей XGBoost, оптимізованих за допомогою байєсівських методів, приділяючи основну увагу наборам даних з незбалансованим розподілом класів. Головним завданням є точне визначення класів меншості, які часто класифікуються неправильно через переважання класів більшості, що зменшує прогностичну здатність. Крім того, складність набору даних, на яку вказує коефіцієнт варіації (від 14,64 % до 85,68 %), не завжди корелює з покращенням продуктивності моделі, що свідчить про необхідність застосування більш цілеспрямованих методів. Високорозмірні набори даних можуть бути менш точними, ніж простіші, і вимагають використання сучасних підходів. Застосування байєсівської оптимізації дозволяє забезпечити точне налаштування гіперпараметрів та підвищити ефективність класифікації для різних типів наборів даних.

Це вказує на те, що вибір належних методів повторної вибірки відповідно до характеристик набору даних має вирішальне значення, а оптимізація гіперпараметрів відіграє важливу роль у побудові високоточних моделей. Застосування даного підходу охоплює такі області, як виявлення шахрайства та інші сфери, в яких важливе значення має класифікація груп меншості. Завдяки використанню ефективних методів повторної вибірки та сучасних методів оптимізації дане дослідження пропонує комплексне вирішення завдань, пов'язаних з незбалансованими наборами даних, підвищуючи надійність рішень для машинного навчання. Відмінності в методах повторної вибірки та оптимізації показників продуктивності моделей можуть бути зумовлені розподілом класів, кількістю ознак, складністю та характеристиками наборів даних.

Ключові слова: байєсівська оптимізація, екстремальний градієнтний бустинг, незбалансовані набори даних, складність наборів даних, класифікація, матриця невідповідностей, методи повторної вибірки, налаштування гіперпараметрів, оцінка продуктивності, визначення класів меншості.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.322629

РОЗРОБКА МЕТОДУ ОБРОБКИ ГЕТЕРОГЕННИХ ДАНИХ В ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ (с. 64–71)

Salman Rasheed Owaid, С. О. Кашкевич, А. В. Шишацький, Г. Д. Радзівілов, О. Я. Сова, А. О. Зарубенко, А. О. Веретнов, Р. Р. Лазута, О. О. Носков, А. С. Возниця

Об'єктом дослідження є гетерогенні дані в організаційно-технічних системах. Предметом дослідження є процес обробки гетерогенних даних. Проблема даного дослідження – підвищення оперативності обробки гетерогенних даних в організаційно-технічних системах при забезпеченні заданої достовірності незалежно від обсягів даних, які надходять на її вхід. Проведено розробку методу обробки гетерогенних даних в організаційно-технічних системах. Оригінальність методу полягає у використанні додаткових удосконалених процедур, які дозволяють:

- досягти виставлення початкової популяції агентів зграї комбінованого алгоритму та їх вихідне положення на площині пошуку з врахуванням ступеню невизначеності вихідних даних про інформацію, яка циркулює в організаційно-технічній системі. Це досягається за рахунок використання відповідних корегувальних коефіцієнтів;

- враховувати початкову швидкість кожного з агентів зграї комбінованого алгоритму, чим досягається можливість визначати пріоритетність пошуку у відповідній площині пошуку (по елементам і складовим частинам організаційно-технічної системи);

- визначається придатність прийнятих рішень при обробці гетерогенних даних з урахуванням сукупності зовнішніх факторів, чим зменшується час пошуку рішення;

- можливість розрахунку необхідної кількості обчислювальних ресурсів, яких необхідно залучити у разі неможливості проведення розрахунків наявними обчислювальними ресурсами.

Проведений приклад використання запропонованого методу на прикладі обробки гетерогенних даних в оперативному угрупованні військ (сил), який показав підвищення оперативності прийняття рішень на рівні 14–20 % за рахунок використання додаткових процедур та забезпечення достовірності прийнятих рішень на рівні 0.9.

Ключові слова: різнотипні дані, унімодальні функції, мультимодальні функції, дестабілізуючі фактори, різнорідне угруповання.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.322992

БАГАТООБ'ЄКТИВНА ОПТИМІЗАЦІЯ ДВОСТУПЕНЕВОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ З ПОДВІЙНИМИ ПЕРЕДАЧАМИ НА ДРУГОМУ СТУПІНІ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНІКИ ПИЛКИ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ПЛОЩІ ДНИЩА ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ (с. 72–80)

Binh Duc Vu, Hung Quoc Tran, Thanh Van Dinh, Trang Van Nguyen, Minh Khac Nguyen

Двоступінчасті циліндричні редуктори з двома передачами на другому ступені широко використовуються в різних галузях промисловості. Ця конструкція коробки передач допомагає збільшити вантажопідйомність, збільшує рівномірний розподіл сил і мінімізує робочий шум. Однією з важливих проблем у розробці цього типу коробки передач є одночасна оптимізація кількох проектних критеріїв, включаючи ефективність трансмісії та загальний розмір. Оптимізація конструкції коробки передач передбачає більше, ніж вибір відповідної конфігурації коробки передач; це потребує повного підходу, який збалансує продуктивність із розміром, забезпечує стабільну роботу та мінімізує виробничі витрати. Це дослідження було проведено для розробки методу розв'язання задачі багатоцільової оптимізації (МООР), пов'язаної з конструкцією двоступеневої циліндричної коробки передач (TSHG), що містить подвійні передачі на другому ступені (DGSS). Основна увага приділяється двом єдиним цілям: максимізації ефективності коробки передач і мінімізації площі днища коробки передач. У цьому дослідженні досліджуються три основні конструктивні параметри: передавальне число першого ступеня (u_1), коефіцієнт ширини передачі першого ступеня (X_{ba1}) і другого ступеня (X_{ba2}). Процес оптимізації проводився в два окремі етапи. Початкова фаза була зосереджена на задачі оптимізації з однією метою, спрямованою на мінімізацію розриву між рівнями змінних. Другий етап був зосереджений на роботі з МООР для визначення оптимальних параметрів проекту. Метод простого адитивного зважування (SAW) використовувався для вирішення проблеми багатокритеріального прийняття рішень (MCDM), тоді як метод MEREC використовувався для встановлення ваг критеріїв. Впровадження SAW у цьому контексті представляє нову методологію, яка спрощує ідентифікацію оптимального рішення, одночасно підвищуючи точність результатів. Крім того, вирішення проблеми МООР у двоетапний підхід скорочує процес вирішення та підвищує точність результатів. Запропоновані оптимізовані значення основних конструктивних параметрів мають на меті підвищити ефективність коробки передач і максимізувати простір для установки, тим самим полегшуючи потенційне застосування в різних галузях промисловості.

Ключові слова: метод SAW, метод MEREC, циліндрична коробка передач, передавальне число, ККД коробки передач, днище коробки передач, MCDM, МООР.