

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.285997
DESIGN OF VARIOUS OPERATING DEVICES FOR SORTING BINARY DATA (p. 6–18)

Volodymyr Hryha

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University,
Ivano-Frankivsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5458-525X>

Bogdan Dzundza

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University,
Ivano-Frankivsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6657-5347>

Stepan Melnychuk

Ivano-Frankivsk National Technical University
of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6973-4235>

Iryna Manuliak

Ivano-Frankivsk National Technical University
of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0072-1532>

Andriy Terletsky

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University,
Ivano-Frankivsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2091-0362>

Mykhailo Deichakivskyi

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University,
Ivano-Frankivsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7574-7772>

The object of research is the process of designing hardware devices for sorting arrays of binary data using the methodology of space-time graphs.

The main task that is solved in the work is the development and research of multi-cycle operating devices for sorting binary data in order to choose the optimal structure with predetermined technical characteristics for solving the sorting problem. As an example, the development of different types of structures of multi-cycle operating sorting devices by the method of «even-odd» permutation is shown and their system characteristics are determined.

New structures of multi-cycle operating devices have been designed for a given sorting algorithm, and analytical expressions for calculating equipment costs and their performance have been given. A comparative analysis of the hardware and time complexity of the developed structures of devices for sorting binary numbers of various types with known implementations of algorithmic and pipeline operating devices was carried out. As a result, the proposed structures, when sorting large arrays of binary data ($N > 128$), have an order of magnitude less hardware complexity due to sequential execution of the same type of operations. The time complexity of multi-cycle operating devices of combined and sequential types with large values of input data is 2.3 and 3.4 times less than that of known pipeline operating devices.

A feature of the research results is the possibility of finding the optimal ratio between the hardware and time characteristics of the resulting structures of sorting devices. Owing to this, the designer will be able to choose the necessary type of device for the implementation of the corresponding task with optimal system characteristics.

The field of application of the designed sorting devices is the tasks of digital processing of signals and images. The practical use of

the developed sorting devices can be carried out in the form of their synthesis on software integrated logic circuits.

Keywords: «even-odd» permutation method, multi-cycle operating device, space-time graph, flow graph, algorithm, synthesis, functional operator, sorting device, binary data, simulation.

References

- Knuth, D. E. (2011). *The Art of Computer Programming, Volume 4A: Combinatorial Algorithms, Part 1*. Addison-Wesley Professional, 912. Available at: <https://ia804701.us.archive.org/2/items/B-001-001-251/B-001-001-251.pdf>
- Siewiorek, D., Robert, S. (2017). *Reliable Computer Systems: Design and Evaluation*. CRC Press, 908. doi: <https://doi.org/10.1201/9781439863961>
- Dobre, C., Xhafa, F. (2013). *Parallel Programming Paradigms and Frameworks in Big Data Era*. *International Journal of Parallel Programming*, 42 (5), 710–738. doi: <https://doi.org/10.1007/s10766-013-0272-7>
- Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., Stein, C. (2009). *Introduction to algorithms: third edition*. Massachusetts Institute of Technology. Available at: https://pd.daffodilvarsity.edu.bd/course/material/book-430/pdf_content
- Hanyu, T., Endoh, T., Suzuki, D., Koike, H., Ma, Y., Onizawa, N. et al. (2016). Standby-Power-Free Integrated Circuits Using MTJ-Based VLSI Computing. *Proceedings of the IEEE*, 104 (10), 1844–1863. doi: <https://doi.org/10.1109/jproc.2016.2574939>
- Michailov, D. (2011). *Hardware implementation of recursive sorting algorithms using tree-like structures and HFSM Models*. Tallin: TUT Press, 114. Available at: <https://digikogu.taltech.ee/en/Download/eb5d073c-02e5-46b9-83de-71fa17bd572a>
- Akl, S. G. (1985). *Parallel sorting algorithms*. Academic Press. doi: <https://doi.org/10.1016/c2013-0-10281-4>
- Melnyk, A. O. (2008). *Arkhitektura kompiutera*. Lutsk: Volynska oblasna drukarnia, 470.
- Melnyk, A. O. (2014). Pamiat iz vporiadkovanyh dostupom. *Lviv: Vydavnytstvo NU «Lvivska politehnika»*, 296.
- Yakovlieva, I. D. (2008). Otsinka variantiv syntezu paralelnykh obchysliuvalnykh prystroiv sortuvannia. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politehnika»*, 630, 124–130. Available at: <https://ena.lpnu.ua/handle/ntb/880>
- Tsmots, I. G., Antoniv, V. Ya. (2016). Algorithms and Parallel Structures for Data Sorting Using Insertion Method. *Scientific Bulletin of UNFU*, 26 (1), 340–350. doi: <https://doi.org/10.15421/40260153>
- Tsmots, I. G., Antoniv, V. Y. (2020). Improvement of parallel sorting by method of merging. *Scientific Bulletin of UNFU*, 30 (4), 134–142. doi: <https://doi.org/10.36930/40300422>
- Gryga, V., Nykolaichuk, Y., Vozna, N., Krulikovskyi, B. (2017). Synthesis of a microelectronic structure of a specialized processor for sorting an array of binary numbers. 2017 XIIIth International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH). doi: <https://doi.org/10.1109/memstech.2017.7937560>
- Dunets, R., Gryga, V. (2015). Spatio-temporal synthesis of transformation matrix of reverse fast cosine transformation. *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics*. doi: <https://doi.org/10.1109/cadsm.2015.7230792>
- Gryga, V., Kolosov, I., Danyluk, O. (2016). The development of a fast iterative algorithm structure of cosine transform. 2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering,

- Telecommunications and Computer Science (TCSET). doi: <https://doi.org/10.1109/tcset.2016.7452100>
16. Gryga, V. (2018). Design and research of operational and pipelined binary number sorting devices. 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2018, Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing. doi: <https://doi.org/10.5593/sgem2018/2.1/s07.036>
 17. Alotaibi, A., Almutairi, A., Kurdi, H. (2020). OneByOne (OBO): A Fast Sorting Algorithm. *Procedia Computer Science*, 175, 270–277. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.07.040>
 18. Alaparhi, S., Gulati, K., Khatri, S. P. (2009). Sorting binary numbers in hardware - A novel algorithm and its implementation. 2009 IEEE International Symposium on Circuits and Systems. doi: <https://doi.org/10.1109/iscas.2009.5118240>
 19. Kobayashi, R., Miura, K., Fujita, N., Boku, T., Amagasa, T. (2022). An Open-source FPGA Library for Data Sorting. *Journal of Information Processing*, 30, 766–777. doi: <https://doi.org/10.2197/ipsjip.30.766>
 20. Mihhailov, D., Sklyarov, V., Skliarova, I., Sudnitson, A. (2011). Hardware implementation of recursive sorting algorithms. 2011 International Conference on Electronic Devices, Systems and Applications (ICEDSA). doi: <https://doi.org/10.1109/icedsa.2011.5959040>
 21. Deo, N. (1974). *Graph theory with applications to engineering and computer science*. Dover Publications. Available at: <https://www.shahucollegelatur.org.in/Department/Studyaterial/sci/it/BCS/FY/book.pdf>
 22. Kogut, I. T., Druzhinin, A. A., Holota, V. I. (2011). 3D SOI Elements for System-on-Chip Applications. *Advanced Materials Research*, 276, 137–144. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.276.137>
 23. Novosiadlyi, S., Kotyky, M., Dzundza, B., Gryga, V., Novosiadlyi, S., Mandzyuk, V. (2017). Formation of carbon films as the subgate dielectric of GaAs microcircuits on Si-substrates. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (5 (89)), 26–34. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.112289>
 24. Kehret, O., Walz, A., Sikora, A. (2016). Integration of hardware security modules into a deeply embedded tls stack. *International Journal of Computing*, 15 (1), 22–30. doi: <https://doi.org/10.47839/ijc.15.1.827>
 25. Gryga, V., Dzundza, B., Dadiak, I., Nykolaichuk, Y. (2018). Research and implementation of hardware algorithms for multiplying binary numbers. 2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). doi: <https://doi.org/10.1109/tcset.2018.8336427>
 26. Giachetti, R. (2016). *Design of enterprise systems: Theory, architecture, and methods*. CRC Press. doi: <https://doi.org/10.1201/9781439882894>
 27. Hryha, V. M., Nykolaichuk, Ya. M., Hryha, L. P. (2022). Pat. No. 151889. Prystryi porivniannia bahatorozriadnykh dviykovykh danykh. No. u202200478; declared: 07.02.2022, published: 28.09.2022. Available at: <https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1707803/>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286164

DEVELOPMENT OF THE METHOD OF GENERAL INTERPOLATION FOR Z-NUMBER-VALUED IF-THEN RULES (p. 10–26)

Konul Jabbarova

Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0313-8307>

Ulviyya Rzayeva

Azerbaijan State University of Economics (UNEC), Baku, Azerbaijan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5881-6633>

Aynur Jabbarova

Azerbaijan State University of Economics (UNEC), Baku, Azerbaijan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7140-6185>

Rule interpolation-based methods are used when the rule base is sparse. This frequently being the case, as information relevant to real-world problems is not usually comprehensive. At the same time, relevant information is often characterized by both fuzziness and partial reliability. To deal with such kind of information, the concept of Z-number was introduced by Zadeh. This paper is devoted to an extension of the general interpolation method for fuzzy rules to the case of if-then rules with Z-number-valued antecedents and consequents. The proposed approach relies on the determination of the distance between the current observation vector and vectors of rules antecedents. By determining the distance between the current vector and the antecedents of the rules, decisions can be made based on the nearest antecedents. In this context, rule antecedents are vectors that represent certain conditions. The resulting output is computed as a weighted sum of rules consequents. Weighting factors are used to account for the importance of each rule in the interpolation. Weights of interpolations are found on the basis of mentioned distance values. The results of this study are aimed at developing an approach to decision-making in terms of Z-valued information. The method is characterized by relatively low computational complexity. Regarding the application of the proposed approach, the job satisfaction evaluation problem is considered. Consequently, the obtained results confirm the efficiency of the proposed approach. The proposed method can be a useful tool for decision-making in various applications, especially where high computational complexity is unacceptable or impractical.

Keywords: Z-number, fuzzy number, partial reliability, if-then rules, interpolation, distance, weights.

References

1. Zadeh, L. A. (2011). A Note on Z-numbers. *Information Sciences*, 181 (14), 2923–2932. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2011.02.022>
2. Chen, S.-M., Chang, Y.-C. (2011). Fuzzy rule interpolation based on interval type-2 Gaussian fuzzy sets and genetic algorithms. 2011 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2011). doi: <https://doi.org/10.1109/fuzzy.2011.6007533>
3. Huang, Z. (2006). *Rule Model Simplification*. University of Edinburgh. Available at: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=fb72b35e95303843a5c4f661ca162c65678a4a65>
4. Li, F., Shang, C., Li, Y., Yang, J., Shen, Q. (2021). Approximate reasoning with fuzzy rule interpolation: background and recent advances. *Artificial Intelligence Review*, 54 (6), 4543–4590. doi: <https://doi.org/10.1007/s10462-021-10005-3>
5. Alzubi, M., Johanyák, Z. C., Kovács, Sz. (2018). Fuzzy Rule Interpolation Methods and FRI Toolbox. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 96 (21). Available at: https://www.researchgate.net/publication/329239835_FUZZY_RULE_INTERPOLATION_METHODS_AND_FRI_TOOLBOX
6. Naik, N., Diao, R., Shen, Q. (2018). Dynamic Fuzzy Rule Interpolation and Its Application to Intrusion Detection. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 26 (4), 1878–1892. doi: <https://doi.org/10.1109/tfuzz.2017.2755000>
7. Das, S., Chakraborty, D., Kóczy, L. T. (2019). Linear fuzzy rule base interpolation using fuzzy geometry. *International Journal of Approximate Reasoning*, 112, 105–118. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijar.2019.05.004>
8. Tikk, D., Johanyák, Z. C., Kovács, S., Wong, K. W. (2011). Fuzzy Rule Interpolation and Extrapolation Techniques: Criteria and Evaluation Guidelines. *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, 15 (3), 254–263. doi: <https://doi.org/10.20965/jaciii.2011.p0254>
9. Chen, C., Parthaláin, N. M., Li, Y., Price, C., Quek, C., Shen, Q. (2016). Rough-fuzzy rule interpolation. *Information Sciences*, 351, 1–17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2016.02.036>
10. Chen, S.-M., Lee, L.-W. (2011). Fuzzy interpolative reasoning for sparse fuzzy rule-based systems based on interval type-2 fuzzy sets.

- Expert Systems with Applications, 38 (8), 9947–9957. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.02.035>
11. Aliev, R. A., Pedrycz, W., Huseynov, O. H., Eyupoglu, S. Z. (2017). Approximate Reasoning on a Basis of Z-number valued If-Then Rules. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 25 (6), 1589–1600. doi: <https://doi.org/10.1109/tfuzz.2016.2612303>
 12. Aliev, R. A., Huseynov, O. H., Zulfugarova, R. X. (2016). Z-Distance Based IF-THEN Rules. *The Scientific World Journal*, 2016, 1–9. doi: <https://doi.org/10.1155/2016/1673537>
 13. Aliev, R. A., Alizadeh, A. V., Huseynov, O. H. (2015). The arithmetic of discrete Z-numbers. *Information Sciences*, 290, 134–155. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.08.024>
 14. Aliev, R. A., Guirimov, B. G., Huseynov, O. H., Aliyev, R. R. (2021). Z-relation equation-based decision making. *Expert Systems with Applications*, 184, 115387. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115387>
 15. Alonso de la Fuente, M., Terán, P. (2023). Convergence in distribution of fuzzy random variables in L-type metrics. *Fuzzy Sets and Systems*, 470, 108653. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fss.2023.108653>
 16. Abiyev, R. H., Saner, T., Eyupoglu, S., Sadikoglu, G. (2016). Measurement of Job Satisfaction Using Fuzzy Sets. *Procedia Computer Science*, 102, 294–301. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.404>
 17. Lepot, M., Aubin, J.-B., Clemens, F. (2017). Interpolation in Time Series: An Introductory Overview of Existing Methods, Their Performance Criteria and Uncertainty Assessment. *Water*, 9 (10), 796. doi: <https://doi.org/10.3390/w9100796>
 18. Alam, N. M. F. H. N. B., Ku Khalif, K. M. N., Jaini, N. I., Gegov, A. (2023). The Application of Z-Numbers in Fuzzy Decision Making: The State of the Art. *Information*, 14 (7), 400. doi: <https://doi.org/10.3390/info14070400>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.284315
DEVELOPMENT OF A SOLUTION SEARCH METHOD USING AN IMPROVED FISH SCHOOL ALGORITHM (p. 27–33)

Aqeel Bahr Tarkhan

Al-Taff University College, Karbala, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7478-6662>

Yurii Zhuravskiy

Zhytomyr Military Institute named after S. P. Korolyov, Zhytomyr, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4234-9732>

Andrii Shyshatskyi

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

Tetiana Pluhina

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6724-6708>

Volodymyr Dudnyk

The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1985-4068>

Ihor Kiris

Scientific-Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3036-8603>

Oleksii Nalapko

Central Scientifically-Research Institute of Armaments and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3515-2026>

Nadiia Protas

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0943-0587>

Serhii Neronov

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2381-1271>

Vitaliy Nechyporuk

National Aviation University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3580-9953>

The object of research is decision support systems. The subject of research is the decision-making process in management problems using the fish school (FSH) algorithm, an advanced genetic algorithm and evolving artificial neural networks.

A solution search method using an improved FSH algorithm is proposed. The study is based on the FSH algorithm for finding a solution on the object state. For training FSH, evolving artificial neural networks are used. The method has the following sequence of actions:

- input of initial data;
- processing of initial data taking into account the degree of uncertainty;
- checking the fitness function of the solution found;
- procedure of feeding fish agents (FA);
- instinctive-collective FA swimming;
- calculation of the center of school gravity;
- collective voluntary FA swimming;
- changing the FA swimming parameters;
- training of FA knowledge bases.

The originality of the proposed method lies in the arrangement of FA taking into account the uncertainty of the initial data, improved global and local search procedures taking into account the degree of noise of data about the state of the analysis object. The peculiarity of the proposed method is the use of an improved FA training procedure. The training procedure consists in learning the synaptic weights of the artificial neural network, the type and parameters of the membership function, the architecture of individual elements and the architecture of the artificial neural network as a whole. The use of the method makes it possible to increase the efficiency of data processing at the level of 18–25 % due to the use of additional improved procedures. The proposed method should be used to solve the problems of evaluating complex and dynamic processes in the interest of solving national security problems.

Keywords: multi-agent systems, decision support systems, complex processes, fish school algorithm.

References

1. Bashkyrov, O. M., Kostyna, O. M., Shyshatskyi, A. V. (2015). Rozvytok intehrovanykh system zviazku ta peredachi danykh dlia potreb Zbroinykh Syl. *Ozbroiennia ta viyskova tekhnika*, 1, 35–39. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt_2015_1_7
2. 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
3. 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. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>
4. 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. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>

5. 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>
6. Shyshatskiy, 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. doi: <https://doi.org/10.30534/ijatce/2020/206942020>
7. 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. doi: https://doi.org/10.46338/ijetae0521_05
8. Rotshteyn A. P. (1999). *Intellektual'nye tekhnologii identifikatsii: nechetkie mnozhestva, geneticheskie algoritmy, neyronnye seti*. Vinitsa: «UNIVERSUM», 320.
9. Alpeeva, E. A., Volkova, I. I. (2019). The use of fuzzy cognitive maps in the development of an experimental model of automation of production accounting of material flows. *Russian Journal of Industrial Economics*, 12 (1), 97–106. doi: <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2019-1-97-106>
10. Zgranovskaya, A. V., Eissner, Y. N. (2017). Simulation scenarios of the economic situation based on fuzzy cognitive maps. *Modern economics: problems and solutions*, 10, 33–47. doi: <https://doi.org/10.17308/meps.2017.10/1754>
11. Simankov, V. S., Putyato, M. M. (2013). *Issledovanie metodov kognitivnogo analiza. Sistemnyy analiz, upravlenie i obrabotka informatsii*, 13, 31–35.
12. 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.079>
13. 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025>
14. 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023>
15. Chen, H. (2018). Evaluation of Personalized Service Level for Library Information Management Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Procedia Computer Science*, 131, 952–958. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.233>
16. 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113114>
17. Osman, A. M. S. (2019). A novel big data analytics framework for smart cities. *Future Generation Computer Systems*, 91, 620–633. doi: <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.046>
18. Gödri, I., Kardos, C., Pfeiffer, A., Váncza, J. (2019). Data analytics-based decision support workflow for high-mix low-volume production systems. *CIRP Annals*, 68 (1), 471–474. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.001>
19. 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. doi: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-2-w1-59-2013>
20. Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24 (1), 65–75. doi: [https://doi.org/10.1016/s0020-7373\(86\)80040-2](https://doi.org/10.1016/s0020-7373(86)80040-2)
21. Gorelova, G. V. (2013). Kognitivniy podkhod k imitatsionnomu modelirovaniyu slozhnykh sistem. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki*, 3, 239–250.
22. Koval, M., Sova, O., Shyshatskiy, 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268621>
23. Koshevoy, N. D., Gordienko, V. A., Sukhobrus, Ye. A. (2014). Optimization for the design matrix realization value with the aim to investigate technological processes. *Telecommunications and Radio Engineering*, 73 (15), 1383–1386. doi: <https://doi.org/10.1615/telecomradeng.v73.i15.60>
24. Koshlan, A., Salnikova, O., Chekhovska, M., Zhyvotovskiy, R., Prokopenko, Y., Hurskiy, T. et al. (2019). Development of an algorithm for complex processing of geospatial data in the special-purpose geoinformation system in conditions of diversity and uncertainty of data. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (101)), 35–45. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.180197>
25. Mahdi, Q. A., Shyshatskiy, A., Prokopenko, Y., Ivakhnenko, T., Kupriyenko, D., Golian, V. et al. (2021). Development of estimation and forecasting method in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (111)), 51–62. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.232718>
26. Emel'yanov, V. V., Kureychik, V. V., Kureychik, V. M., Emel'yanov, V. V. (2003). *Teoriya i praktika evolyutsionnogo modelirovaniya*. Moscow: Fizmatlit, 432.
27. Gorokhovatsky, V., Stiahlyk, N., Tsarevska, V. (2021). Combination method of accelerated metric data search in image classification problems. *Advanced Information Systems*, 5 (3), 5–12. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.3.01>
28. Levashenko, V., Liashenko, O., Kuchuk, H. (2020). Building Decision Support Systems based on Fuzzy Data. *Advanced Information Systems*, 4 (4), 48–56. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.4.07>
29. Meleshko, Y., Drieiev, O., Drieieva, H. (2020). Method of identification bot profiles based on neural networks in recommendation systems. *Advanced Information Systems*, 4 (2), 24–28. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.2.05>
30. Kuchuk, N., Merlak, V., Skorodelov, V. (2020). A method of reducing access time to poorly structured data. *Advanced Information Systems*, 4 (1), 97–102. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.14>
31. Shyshatskiy, A., Tiurnikov, M., Suhak, S., Bondar, O., Melnyk, A., Bokhno, T., Lyashenko, A. (2020). Method of assessment of the efficiency of the communication of operational troop grouping system. *Advanced Information Systems*, 4 (1), 107–112. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.16>
32. Raskin, L., Sira, O. (2016). Method of solving fuzzy problems of mathematical programming. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (4 (83)), 23–28. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.81292>
33. Lytvyn, V., Vysotska, V., Pukach, P., Brodyak, O., Ugryn, D. (2017). Development of a method for determining the keywords in the slavic language texts based on the technology of web mining. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (2 (86)), 14–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.98750>
34. Stepanenko, A., Oliinyk, A., Deineha, L., Zaiko, T. (2018). Development of the method for decomposition of superpositions of unknown pulsed signals using the secondorder adaptive spectral analysis.

- Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (9 (92)), 48–54. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126578>
35. Gorbenko, I., Ponomar, V. (2017). Examining a possibility to use and the benefits of post-quantum algorithms dependent on the conditions of their application. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (9 (86)), 21–32. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96321>
36. Koval, M., Sova, O., Orlov, O., Shyshatskyi, A., Artabaiev, Y., Shknaï, O. et al. (2022). Improvement of complex resource management of special-purpose communication systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (9 (119)), 34–44. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266009>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.281731

DEVELOPMENT OF A MODEL FOR DETERMINING THE NECESSARY FPGA COMPUTING RESOURCE FOR PLACING A MULTILAYER NEURAL NETWORK ON IT (p. 34–45)

Bekbolat Medetov

S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5594-8435>

Tansaule Serikov

S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7026-7702>

Arai Tolegenova

S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6318-8328>

Dauren Zhexebay

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1884-4662>

Asset Yskak

Nazarbayev University, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1196-3155>

Timur Namazbayev

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2389-2262>

Nurtay Albanbay

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3393-7380>

In this paper, the object of the research is the implementation of artificial neural networks (ANN) on FPGA. The problem to be solved is the construction of a mathematical model used to determine the compliance of FPGA computing resources with the requirements of neural networks, depending on their type, structure, and size. The number of its LUT (Look-up table – the basic FPGA structure that performs logical operations) is considered as a computing resource of the FPGA.

The search for the required mathematical model was carried out using experimental measurements of the required number of LUTs for the implementation on the FPGA of the following types of ANNs:

- MLP (Multilayer Perceptron);
- LSTM (Long Short-Term Memory);
- CNN (Convolutional Neural Network);
- SNN (Spiking Neural Network);
- GAN (Generative Adversarial Network).

Experimental studies were carried out on the FPGA model HAPS-80 S52, during which the required number of LUTs was

measured depending on the number of layers and the number of neurons on each layer for the above types of ANNs. As a result of the research, specific types of functions depending on the required number of LUTs on the type, number of layers, and neurons for the most commonly used types of ANNs in practice were determined.

A feature of the results obtained is the fact that with a sufficiently high accuracy, it was possible to determine the analytical form of the functions that describe the dependence of the required number of LUT FPGA for the implementation of various ANNs on it. According to calculations, GAN uses 17 times less LUT compared to CNN. And SNN and MLP use 80 and 14 times less LUT compared to LSTM. The results obtained can be used for practical purposes when it is necessary to make a choice of any FPGA for the implementation of an ANN of a certain type and structure on it.

Keywords: FPGA, MLP, LSTM, CNN, SNN, GAN.

References

1. Ádám, N., Baláz, A., Pietriková, E., Chovancová, E., Fecifák, P. (2018). The Impact of Data Representation on Hardware Based MLP Network Implementation. Acta Polytechnica Hungarica, 15 (2). doi: <https://doi.org/10.12700/aph.15.1.2018.2.4>
2. Gaikwad, N. B., Tiwari, V., Keskar, A., Shivaprakash, N. C. (2019). Efficient FPGA Implementation of Multilayer Perceptron for Real-Time Human Activity Classification. IEEE Access, 7, 26696–26706. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2900084>
3. Westby, I., Yang, X., Liu, T., Xu, H. (2021). FPGA acceleration on a multi-layer perceptron neural network for digit recognition. The Journal of Supercomputing, 77 (12), 14356–14373. doi: <https://doi.org/10.1007/s11227-021-03849-7>
4. Bai, L., Zhao, Y., Huang, X. (2018). A CNN Accelerator on FPGA Using Depthwise Separable Convolution. IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, 65 (10), 1415–1419. doi: <https://doi.org/10.1109/tcsii.2018.2865896>
5. Zhang, N., Wei, X., Chen, H., Liu, W. (2021). FPGA Implementation for CNN-Based Optical Remote Sensing Object Detection. Electronics, 10 (3), 282. doi: <https://doi.org/10.3390/electronics10030282>
6. He, D., He, J., Liu, J., Yang, J., Yan, Q., Yang, Y. (2021). An FPGA-Based LSTM Acceleration Engine for Deep Learning Frameworks. Electronics, 10 (6), 681. doi: <https://doi.org/10.3390/electronics10060681>
7. Shrivastava, N., Hanif, M. A., Mittal, S., Sarangi, S. R., Shafique, M. (2021). A survey of hardware architectures for generative adversarial networks. Journal of Systems Architecture, 118, 102227. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2021.102227>
8. Wang, D., Shen, J., Wen, M., Zhang, C. (2019). Efficient Implementation of 2D and 3D Sparse Deconvolutional Neural Networks with a Uniform Architecture on FPGAs. Electronics, 8 (7), 803. doi: <https://doi.org/10.3390/electronics8070803>
9. Han, J., Li, Z., Zheng, W., Zhang, Y. (2020). Hardware implementation of spiking neural networks on FPGA. Tsinghua Science and Technology, 25 (4), 479–486. doi: <https://doi.org/10.26599/tst.2019.9010019>
10. Ju, X., Fang, B., Yan, R., Xu, X., Tang, H. (2020). An FPGA Implementation of Deep Spiking Neural Networks for Low-Power and Fast Classification. Neural Computation, 32 (1), 182–204. doi: https://doi.org/10.1162/neco_a_01245
11. Medetov, B., Serikov, T., Tolegenova, A., Dauren, Z. (2022). Comparative analysis of the performance of generating cryptographic ciphers on the CPU and FPGA. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 100 (15), 4813–4824. Available at: <http://www.jatit.org/volumes/Vol100No15/24Vol100No15.pdf>
12. Creswell, A., White, T., Dumoulin, V., Arulkumaran, K., Sengupta, B., Bharath, A. A. (2018). Generative Adversarial Networks: An Overview. IEEE Signal Processing Magazine, 35 (1), 53–65. doi: <https://doi.org/10.1109/msp.2017.2765202>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.281986
A NOVEL APPROACH TO THE DEVELOPMENT OF NEURAL NETWORK ARCHITECTURE BASED ON METAHEURISTIC PROTIS APPROACH (p. 46–59)

Tengku Henny Febriana Harumy

Universitas Sumatera Utara, North Sumatera, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1504-5570>

Muhammad Zarlis

Binus University, Jakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0520-7273>

Maya Silvi Lydia

Universitas Sumatera Utara, North Sumatera, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5779-5678>

Syahril Efendi

Universitas Sumatera Utara, North Sumatera, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3944-5459>

Determining the best model for the neural network architecture and how to optimize the architecture with the metaheuristic Protis Approach is a subject of the study. A comprehensive investigation and utilization of metaheuristic methods are necessary. These methods aim to solve problems and adapt from the lifestyle of the amoeba protis. In this study, the proposed method modifies the life cycle of the amoeba, which consists of four phases: prophase, metaphase, anaphase, and telophase. These four phases are modified in the neural network architecture to optimize the appropriate number of hidden layers and produce an efficient architecture model. The results show that the protis approach optimized the neural network architecture, especially in generating hidden layers to improve the neural network model. Distinctive features of the results obtained are that the average range of degenerate neurons in the hidden layer is 0 to 35 neurons in each layer. The standard number of neurons makes it possible to solve the problem of determining the best model on the neural network architecture. The protis algorithm embedded in the protis recurrent neural network for categorical data measurements produces an average RMSE value, representing the difference between actual measurements and predictions, equal to 0.066.

Consequently, the developed model surpasses the current classical neural network model in terms of performance. Regarding accuracy, the protis algorithm embedded in the neural network for categorical and time series data achieves an average precision of 0.952 and a recall of 0.950. The protis convolutional neural network achieves an accuracy of 95.9 %. Therefore, from the three tested datasets, the protis convolutional neural network exhibits the highest accuracy value.

Keywords: neural network, artificial intelligence, hidden layer optimization, deep neural network.

References

- Mladenović, N., Brimberg, J., Hansen, P., Moreno-Pérez, J. A. (2007). The p-median problem: A survey of metaheuristic approaches. *European Journal of Operational Research*, 179 (3), 927–939. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.05.034>
- Ren, P., Xiao, Y., Chang, X., Huang, P., Li, Z., Chen, X., Wang, X. (2021). A Comprehensive Survey of Neural Architecture Search. *ACM Computing Surveys*, 54 (4), 1–34. doi: <https://doi.org/10.1145/3447582>
- Alkabbani, H., Ahmadian, A., Zhu, Q., Elkamel, A. (2021). Machine Learning and Metaheuristic Methods for Renewable Power Forecasting: A Recent Review. *Frontiers in Chemical Engineering*, 3. doi: <https://doi.org/10.3389/fceng.2021.665415>
- Joshi, D., Chithaluru, P., Anand, D., Hajje, F., Aggarwal, K., Torres, V. Y., Thompson, E. B. (2023). An Evolutionary Technique for Building Neural Network Models for Predicting Metal Prices. *Mathematics*, 11 (7), 1675. doi: <https://doi.org/10.3390/math11071675>
- Panario, D. (2014). Open Problems for Polynomials over Finite Fields and Applications. *Open Problems in Mathematics and Computational Science*, 111–126. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-10683-0_6
- Panchal, G., Ganatra, A., Kosta, Y. P., Panchal, D. (2011). Behaviour Analysis of Multilayer Perceptrons with Multiple Hidden Neurons and Hidden Layers. *International Journal of Computer Theory and Engineering*, 3 (2), 332–337. doi: <https://doi.org/10.7763/ijcte.2011.v3.328>
- Sengupta, S., Basak, S., Saikia, P., Paul, S., Tsalavoutis, V., Atiah, F. et al. (2020). A review of deep learning with special emphasis on architectures, applications and recent trends. *Knowledge-Based Systems*, 194, 105596. doi: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2020.105596>
- Eskandar, H., Sadollah, A., Bahreinejad, A., Hamdi, M. (2012). Water cycle algorithm – A novel metaheuristic optimization method for solving constrained engineering optimization problems. *Computers & Structures*, 110–111, 151–166. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2012.07.010>
- Alagoz, B. B., Simsek, O. I., Ari, D., Tepljakov, A., Petlenkov, E., Alimohammadi, H. (2022). An Evolutionary Field Theorem: Evolutionary Field Optimization in Training of Power-Weighted Multiplicative Neurons for Nitrogen Oxides-Sensitive Electronic Nose Applications. *Sensors*, 22 (10), 3836. doi: <https://doi.org/10.3390/s22103836>
- Ebenezer M., A., Arya, A. (2022). An Atypical Metaheuristic Approach to Recognize an Optimal Architecture of a Neural Network. *Proceedings of the 14th International Conference on Agents and Artificial Intelligence*. doi: <https://doi.org/10.5220/0010951600003116>
- Castellanos, J. L., Gomez, M. F., Adams, K. D. (2017). Using machine learning based on eye gaze to predict targets: An exploratory study. *2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*. doi: <https://doi.org/10.1109/ssci.2017.8285207>
- Adhitya, E. K., Satria, R., Subagyo, H. (2015). Komparasi Metode Machine Learning dan Metode Non Machine Learning untuk Estimasi Usaha Perangkat Lunak. *Journal of Software Engineering*, 1 (2), 109–113. Available at: <https://www.neliti.com/publications/90180/komparasi-metode-machine-learning-dan-metode-non-machine-learning-untuk-estimasi#cite>
- Demir, S. Yu., Berdieva, M. A., Podlipaeva, Yu. I., Yudin, A. L., Goodkov, A. V. (2017). Karyotyping of Amoeba proteus. *Cell and Tissue Biology*, 11 (4), 308–313. doi: <https://doi.org/10.1134/s1990519x17040046>
- Harumy, T. H. F., Zarlis, M., Effendi, S., Lidya, M. S. (2021). Prediction Using A Neural Network Algorithm Approach (A Review). *2021 International Conference on Software Engineering & Computer Systems and 4th International Conference on Computational Science and Information Management (ICSECS-ICOCSIM)*. doi: <https://doi.org/10.1109/icsecs52883.2021.00066>
- Harumy, T. H. F., Sitorus, J., Lubis, M. (2018). Sistem Informasi Absensi Pada Pt. Cospas Sentosa Jaya Menggunakan Bahasa Pemrograman Java. *Jurnal Teknik dan Informatika*, 5 (1), 63–70. Available at: <https://jurnal.pancabudi.ac.id/index.php/Juti/article/view/95>
- Ergen, T., Pilanci, M. (2021). Convex geometry and duality of over-parameterized neural networks. *Journal of Machine Learning Research*, 22, 1–63. Available at: <https://jmlr.org/papers/volume22/20-1447/20-1447.pdf>
- Harumy, T. H. F., Yustika Manik, F., Altaha (2021). Optimization Classification of Diseases Which is Dominant Suffered by Coastal Areas Using Neural Network. *2021 International Conference on Data Science, Artificial Intelligence, and Business Analytics (DAT-ABIA)*. doi: <https://doi.org/10.1109/databia53375.2021.9650223>
- Pomey, P. (2017). The Protis project (Marseilles, France). *Ships And Maritime Landscapes*, 484–489. doi: <https://doi.org/10.2307/j.ctt20p56b6.86>

19. Wagarachchi, N. M., Karunananda, A. S. (2013). Optimization of multi-layer artificial neural networks using delta values of hidden layers. 2013 IEEE Symposium on Computational Intelligence, Cognitive Algorithms, Mind, and Brain (CCMB). doi: <https://doi.org/10.1109/ccmb.2013.6609169>
20. Musikawan, P., Sunat, K., Kongsorot, Y., Horata, P., Chiewchanwattana, S. (2019). Parallelized Metaheuristic-Ensemble of Heterogeneous Feedforward Neural Networks for Regression Problems. *IEEE Access*, 7, 26909–26932. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2900563>
21. Guliyev, N. J., Ismailov, V. E. (2018). On the approximation by single hidden layer feedforward neural networks with fixed weights. *Neural Networks*, 98, 296–304. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2017.12.007>
22. Qolomany, B., Maabreh, M., Al-Fuqaha, A., Gupta, A., Benhaddou, D. (2017). Parameters optimization of deep learning models using Particle swarm optimization. 2017 13th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC). doi: <https://doi.org/10.1109/iwcmc.2017.7986470>
23. Henriquez, P. A., Ruz, G. A. (2018). A non-iterative method for pruning hidden neurons in neural networks with random weights. *Applied Soft Computing*, 70, 1109–1121. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.03.013>
24. Balamurugan, P., Amudha, T., Satheeshkumar, J., Somam, M. (2021). Optimizing Neural Network Parameters For Effective Classification of Benign and Malicious Websites. *Journal of Physics: Conference Series*, 1998 (1), 012015. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1998/1/012015>
25. Mohammed, A. J., Al-Majidi, S. D., Al-Nussairi, M. Kh., Abbod, M. F., Al-Raweshidy, H. S. (2022). Design of a Load Frequency Controller based on Artificial Neural Network for Single-Area Power System. 2022 57th International Universities Power Engineering Conference (UPEC). doi: <https://doi.org/10.1109/upec55022.2022.9917853>
26. Romanuke, V. (2015). Optimal Training Parameters and Hidden Layer Neuron Number of Two-Layer Perceptron for Generalised Scaled Object Classification Problem. *Information Technology and Management Science*, 18 (1). doi: <https://doi.org/10.1515/itms-2015-0007>
27. Hegde, S., Mundada, M. R. (2019). Enhanced Deep Feed Forward Neural Network Model for the Customer Attrition Analysis in Banking Sector. *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, 11 (7), 10–19. doi: <https://doi.org/10.5815/ijisa.2019.07.02>
28. Thomas, A. J., Petridis, M., Walters, S. D., Gheytassi, S. M., Morgan, R. E. (2017). Two Hidden Layers are Usually Better than One. *Communications in Computer and Information Science*, 279–290. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-65172-9_24
29. Cardoso, W., Di Felice, R., Dos Santos, B. N., Schitine, A. N., Pires Machado, T. A., Sousa Galdino, A. G. de, Morbach Dixini, P. V. (2022). Modeling of artificial neural networks for silicon prediction in the cast iron production process. *IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI)*, 11 (2), 530. doi: <https://doi.org/10.11591/ijai.v11.i2.pp530-538>
30. Zhou, Y., Niu, Y., Luo, Q., Jiang, M. (2020). Teaching learning-based whale optimization algorithm for multi-layer perceptron neural network training. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 17 (5), 5987–6025. doi: <https://doi.org/10.3934/mbe.2020319>
31. Sadollah, A., Eskandar, H., Lee, H. M., Yoo, D. G., Kim, J. H. (2016). Water cycle algorithm: A detailed standard code. *SoftwareX*, 5, 37–43. doi: <https://doi.org/10.1016/j.softx.2016.03.001>
32. Zheng, Y.-J., Lu, X.-Q., Du, Y.-C., Xue, Y., Sheng, W.-G. (2019). Water wave optimization for combinatorial optimization: Design strategies and applications. *Applied Soft Computing*, 83, 105611. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105611>
33. Wang, N., Er, M. J., Han, M. (2015). Generalized Single-Hidden Layer Feedforward Networks for Regression Problems. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 26 (6), 1161–1176. doi: <https://doi.org/10.1109/tnnls.2014.2334366>
34. Geurts, A. M., Hackett, C. S., Bell, J. B., Bergemann, T. L., Collier, L. S., Carlson, C. M. et al. (2006). Structure-based prediction of insertion-site preferences of transposons into chromosomes. *Nucleic Acids Research*, 34 (9), 2803–2811. doi: <https://doi.org/10.1093/nar/gkl301>
35. Yang, X.-S. (2011). Metaheuristic Optimization: Algorithm Analysis and Open Problems. *Lecture Notes in Computer Science*, 21–32. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-20662-7_2
36. Yang, X.-S., He, X. (2014). Swarm Intelligence and Evolutionary Computation: Overview and Analysis. *Recent Advances in Swarm Intelligence and Evolutionary Computation*, 1–23. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-13826-8_1
37. Agrawal, P., Abutarboush, H. F., Ganesh, T., Mohamed, A. W. (2021). Metaheuristic Algorithms on Feature Selection: A Survey of One Decade of Research (2009-2019). *IEEE Access*, 9, 26766–26791. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2021.3056407>
38. Ge, D. H., Li, H. S., Zhang, L., Liu, R. Y., Shen, P. Y., Miao, Q. G. (2020). Survey of Lightweight Neural Network. *Journal of Software*. doi: <https://doi.org/10.13328/j.cnki.jos.005942>
39. Hofmann, W., Sedlmeir-Hofmann, C., Ivandic, M., Ruth, D., Luppa, P. (2010). PROTIS: Use of Combined Biomarkers for Providing Diagnostic Information on Disease States. *The Urinary Proteome*, 123–142. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-60761-711-2_8

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286376
DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL FOR ASSESSING THE QUALITY OF SERVICE ON A PACKET SWITCHING SUBNET (p. 60–71)

Roza Mukasheva

D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,
 Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4722-4576>

Zhenisgul Rakhmetullina

D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,
 Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0554-7684>

Indira Uvaliyeva

D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,
 Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2117-5390>

Raushan Mukhamedova

D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,
 Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5665-6808>

Farida Amenova

S. Amanzholov East Kazakhstan University,
 Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6656-5037>

Currently, data traffic is growing rapidly, and ensuring optimal network performance and effective data flow management have become the most important tasks. In this context, the quality of network service plays a crucial role in achieving these goals.

This article suggests an approach to solving the problem of efficient service in ISDN. Namely, optimization of resource distribution between channel switching and packet switching subnets in ISDN to calculate optimal quality of service characteristics.

In the process of ISDN design analysis, an optimization problem is compiled, where the evaluation of the packet-switched subnet service is used as an objective function, and the evaluation of the circuit-switched subnet service is used as one of the constraints for

this task. To calculate the main characteristics of a packet-switched subnet, the subnet is considered as a service system with a delay.

During the study, the methods of optimal movement of the generalized channel boundary between the subnets of channel switching and packet switching were identified, depending on the data parameters and the state of the integrated network, which made it possible to develop an optimal mathematical model of optimal control of the generalized boundary. To calculate the bandwidth for channel switching and packet switching subnets, an algorithm has been compiled to implement the resulting model and a program in C++ has been compiled.

The study of the generalized boundary and the dynamic redistribution of bandwidth between subnets represents a new approach to network optimization.

The results are based on the use of the classical Erlang formula for systems with service failures and on load distribution plans, which makes it possible to effectively manage the maintenance process in the network.

Keywords: circuit switching, packet switching, mathematical model, service quality function, bandwidth, Lagrange method.

References

- Kruglikov, S. V., Zalizka, A. Yu. (2020). Synthesis of wireless telecommunication network with adaptation to refusals of central elements of average and high intensity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Physical-Technical Series*, 65 (1), 117–128. doi: <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2020-65-1-117-128>
- Skovpin, M. C. (2018). Mnogokriterialnaia optimizatsiia avtomatizatsii chastotno-territorialnogo planirovaniia setei sotovoi svyazi. *Vladimir*, 156.
- Semenov, A. O., Konnov, N. N., Gurin, E. I. (2018). On using algorithms of stochastic dispatching of queues in a network switcher. *University Proceedings. Volga Region. Technical Sciences*, 4 (48), 105–117. doi: <https://doi.org/10.21685/2072-3059-2018-4-10>
- Kizilov, E. A., Konnov, N. N., Potanin, D. V. (2017). Simulation of the adaptive scheduling queues in the ethernet switch support. *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*, 2 (22), 170–182.
- Roy, A., Pachua, J. L., Saha, A. K. (2021). An overview of queuing delay and various delay based algorithms in networks. *Computing*, 103 (10), 2361–2399. doi: <https://doi.org/10.1007/s00607-021-00973-3>
- Ibragimov, B. G., Gasanov, A. G., Alieva, A. A., Isaev, A. M. (2019). Research of the performance indicators multiservice telecommunication networks based on the architectural concept future networks. *Reliability & Quality of Complex Systems*, 1 (25), 88–95. doi: <https://doi.org/10.21685/2307-4205-2019-1-10>
- Valiyev, V. M., Ibrahimov, B. G., Alieva, A. A. (2020). About one resource control task and optimization throughput in multiservice telecommunication networks. *T-Comm*, 14 (6), 48–52. doi: <https://doi.org/10.36724/2072-8735-2020-14-6-48-52>
- Parsiev, S. (2019). Optimization of the structure of communication networks by cost criterion. 2019 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). doi: <https://doi.org/10.1109/icisct47635.2019.9011893>
- Cano-Cano, J., Andújar, F. J., Alfaro-Cortés, F. J., Sánchez, J. L., Mora, G. (2022). Providing quality of service in omni-path networks. *The Journal of Supercomputing*, 78 (10), 12310–12343. doi: <https://doi.org/10.1007/s11227-022-04365-y>
- Lemeshko, O., Papan, J., Yevdokymenko, M., Yeremenko, O. (2022). Advanced Tensor Solution to the Problem of Inter-Domain Routing with Normalized Quality of Service. *Applied Sciences*, 12 (2), 846. doi: <https://doi.org/10.3390/app12020846>
- Lemeshko, O., Yeremenko, O., Mersni, A. (2021). Investigation of Enhanced Mathematical Model For Traffic Engineering Fault-Tolerant Routing. 2021 International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET). doi: <https://doi.org/10.1109/iceet53442.2021.9659606>
- Van, H.-P., Nguyen, H.-S. (2021). Throughput performance for full-duplex DF relaying protocol in hybrid wireless power transfer systems. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 24 (3), 1571–1577. doi: <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v24.i3.pp1571-1577>
- Mufadhol, M., Aryotejo, G., Kurniawan, D. E. (2019). The Network Planning Concept for Increase Quality of Service using Packet Tracer. 2019 2nd International Conference on Applied Engineering (ICAE). doi: <https://doi.org/10.1109/icae47758.2019.9221675>
- Oukessou, Y., Baslam, M., Oukessou, M. (2021). Improved uplink throughput and energy efficiency of LoRaWAN using 2-hop LEACH protocol. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 24 (3), 1557. doi: <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v24.i3.pp1557-1563>
- Guo, Z., Xu, Y., Liu, Y.-F., Liu, S., Chao, H. J., Zhang, Z.-L., Xia, Y. (2020). AggreFlow: Achieving Power Efficiency, Load Balancing, and Quality of Service in Data Center Networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 29 (1), 17–33. doi: <https://doi.org/10.1109/tnet.2020.3026015>
- Beshley, M., Veselý, P., Pryslupskyi, A., Beshley, H., Kyryk, M., Romanchuk, V., Kahalo, I. (2020). Customer-Oriented Quality of Service Management Method for the Future Intent-Based Networking. *Applied Sciences*, 10 (22), 8223. doi: <https://doi.org/10.3390/app10228223>
- Sembiev, O. Z., Kemelbekova, Z. S., Umarova, Z. R. (2019). Calculations of excess load on the network. *NEWS of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, 6 (438), 246–255. doi: <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170x.176>
- Gulfarida, T. (2014). Mathematical model of service quality performance's computing of multiservice network. *Proceedings on the International Conference on Internet Computing (ICOMP)*.
- Sadikova, G., Amreev, M., Manankova, O., Yakubova, M., Yakubov, B., Mukasheva, A., Serikov, T. (2022). Analysis and research of tasks for optimizing flows in multiservice networks based on the principles of a systems approach. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 100 (9), 2811–2825. Available at: <http://www.jatit.org/volumes/Vol100No9/10Vol100No9.pdf>
- Chen-Shang Chang, Thomas, J. A. (1995). Effective bandwidth in high-speed digital networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 13 (6), 1091–1100. doi: <https://doi.org/10.1109/49.400664>
- Sembiyev, O., Kemelbekova, Z., & Umarova, Z. (2020). Load Distribution and Determination of Loss Probability in Asynchronous Network. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 44 (3), 707–715. doi: <https://doi.org/10.1007/s40995-020-00847-x>
- Nishanbayev, T., Yakubova, M., Muradova, A., Amreev, M. (2020). Research of the influence of reliability on qualitative parameters of the transport subnet of the infocommunication system. 2020 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). doi: <https://doi.org/10.1109/icisct50599.2020.9351389>
- Rakhmetullina, Z., Mukasheva, R., Mukhamedova, R., Batyrkhanov, B. (2021). Mathematical Modeling of the Interests of Social Network Users. 2021 International Young Engineers Forum (YEF-ECE), 98–103. doi: <https://doi.org/10.1109/yef-ece52297.2021.9505100>
- Shvartc, M. (1992). *Seti svyazi: protokoly, modelirovanie i analiz*. Moscow: Nauka.
- Kleinrok, L. (1979). *Vychislitelnye sistemy s ocherediami*. Moscow: Mir, 586.
- Ovcharov, L. A. (1969). *Prikladnye zadachi teorii massovogo obsluzhivaniia*. Moscow: Mashinostroenie, 323.

27. ISDN und unsere Informationsgesellschaft (1985). *Nachrichten. Elektronik. Telematik*, 7, 225–232.
28. Lazarev, V. G., Parshenkov, N. Ia., Koshelev, V. N. (1985). *Metody adaptivnogo upravleniia potokami na integralnykh setiakh sviazi. Raspredeleynnye sistemy peredachi i obrabotki informacii*. Moscow, 52–61.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.281138
DEVELOPMENT NEURO-FUZZY MODEL TO PREDICT THE STOCKS OF COMPANIES IN THE ELECTRIC VEHICLE INDUSTRY (p. 72–87)

Alibek Barlybayev

L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0188-5336>

Lena Zhetkenbay

L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9843-6125>

Didar Karimov

L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1924-3844>

Banu Yergesh

L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8967-2625>

Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) it is a type of neural network that combines the strengths of both fuzzy logic and artificial neural networks. ANFIS is particularly useful in stock trading because it can handle uncertainty and imprecision in the data, which is common in stock market data. In stock trading, ANFIS can be used for a variety of purposes, such as predicting stock prices, identifying profitable trades, and detecting stock market trends. One of the key advantages of using ANFIS for stock trading is that it can handle both linear and non-linear relationships in the data. This is particularly useful in the stock market, where the relationships between different variables are often complex and non-linear. ANFIS can also be updated and retrained as new data becomes available, which allows it to adapt to changing market conditions. Therefore, the main hypothesis of this work is to understand whether it is possible to predict the dynamics of prices for stocks of companies in the electric vehicle (EV) sector using technical analysis indicators. The purpose of this work is to create a model for predicting the prices of companies in the EV sector. The technical analysis indicators were processed by several machine learning models. Linear models generally perform worse than more advanced techniques. Decision trees, whether fine or coarse, tend to yield poorer performance results in terms of RMSE, MSE and MAE. After conducting a data analysis, the ANFIS and Bayesian regularization back propagation Neural Network (BR-BPNN) models were seen to be the most effective. The ANFIS was trained for 2000 epochs which yielded a minimum RMSE of 5.90926.

Keywords: stock price forecasting, correlation of technical indicators, neural network, adaptive neuro-fuzzy inference system, electric vehicle sector.

References

- Ma, Y., Mao, R., Lin, Q., Wu, P., Cambria, E. (2023). Multi-source aggregated classification for stock price movement prediction. *Information Fusion*, 91, 515–528. doi: <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2022.10.025>
- Xu, G. (2022). Deep Learning and Machine Learning Are Being Used to Forecast the Stock Market. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 597–605. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-19-2768-3_58
- Al-Nefaei, A. H., Aldhyani, T. H. H. (2022). Predicting Close Price in Emerging Saudi Stock Exchange: Time Series Models. *Electronics*, 11 (21), 3443. doi: <https://doi.org/10.3390/electronics11213443>
- Chen, Q., Robert, C.-Y. (2022). Graph-Based Learning for Stock Movement Prediction with Textual and Relational Data. *The Journal of Financial Data Science*, 4 (4), 152–166. doi: <https://doi.org/10.3905/jfds.2022.1.104>
- Shao, B., Li, M., Zhao, Y., Bian, G. (2019). Nickel Price Forecast Based on the LSTM Neural Network Optimized by the Improved PSO Algorithm. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019, 1–15. doi: <https://doi.org/10.1155/2019/1934796>
- Górna, A., Wieruszewski, M., Szabelska-Beręsewicz, A., Stanula, Z., Adamowicz, K. (2022). Biomass Price Prediction Based on the Example of Poland. *Forests*, 13 (12), 2179. doi: <https://doi.org/10.3390/f13122179>
- Sabri, M. S., Khalid, N., Azam, A. H. M., Sarmidi, T. (2022). Impact Analysis of the External Shocks on the Prices of Malaysian Crude Palm Oil: Evidence from a Structural Vector Autoregressive Model. *Mathematics*, 10 (23), 4599. doi: <https://doi.org/10.3390/math10234599>
- Javid, I., Ghazali, R., Syed, I., Zulqarnain, M., Husaini, N. A. (2022). Study on the Pakistan stock market using a new stock crisis prediction method. *PLOS ONE*, 17 (10), e0275022. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275022>
- Zhang, Q., Zhang, P., Zhou, F. (2022). Intraday and interday features in the high-frequency data: Pre- and post-Crisis evidence in China's stock market. *Expert Systems with Applications*, 209, 118321. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118321>
- Cheng, C.-H., Tsai, M.-C., Chang, C. (2022). A Time Series Model Based on Deep Learning and Integrated Indicator Selection Method for Forecasting Stock Prices and Evaluating Trading Profits. *Systems*, 10 (6), 243. doi: <https://doi.org/10.3390/systems10060243>
- Jiménez-Preciado, A. L., Venegas-Martínez, F., Ramírez-García, A. (2022). Stock Portfolio Optimization with Competitive Advantages (MOAT): A Machine Learning Approach. *Mathematics*, 10 (23), 4449. doi: <https://doi.org/10.3390/math10234449>
- Duan, Z., Chen, C., Cheng, D., Liang, Y., Qian, W. (2022). Optimal Action Space Search. *Proceedings of the 31st ACM International Conference on Information & Knowledge Management*. doi: <https://doi.org/10.1145/3511808.3557412>
- Thavaneswaran, A., Liang, Y., Das, S., Thulasiram, R. K., Bhanushali, J. (2022). Intelligent Probabilistic Forecasts of VIX and its Volatility using Machine Learning Methods. *2022 IEEE Symposium on Computational Intelligence for Financial Engineering and Economics (CIFER)*. doi: <https://doi.org/10.1109/cifer52523.2022.9776069>
- Zhu, Z., Liu, Z., Jin, G., Zhang, Z., Chen, L., Zhou, J., Zhou, J. (2021). MixSeq: Connecting Macroscopic Time Series Forecasting with Microscopic Time Series Data. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 34, 12904–12916.
- Zhao, A., Gao, J., Guan, H. (2020). Forecasting Model for Stock Market Based on Probabilistic Linguistic Logical Relationship and Distance Measurement. *Symmetry*, 12 (6), 954. doi: <https://doi.org/10.3390/sym12060954>
- Almeida, R. L. de, Neves, R. F. (2022). Stock market prediction and portfolio composition using a hybrid approach combined with self-adaptive evolutionary algorithm. *Expert Systems with Applications*, 204, 117478. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117478>
- Kumar, G., Singh, U. P., Jain, S. (2021). Hybrid evolutionary intelligent system and hybrid time series econometric model for stock price forecasting. *International Journal of Intelligent Systems*, 36 (9), 4902–4935. doi: <https://doi.org/10.1002/int.22495>

18. Musaev, A., Grigoriev, D. (2021). Analyzing, Modeling, and Utilizing Observation Series Correlation in Capital Markets. *Computation*, 9 (8), 88. doi: <https://doi.org/10.3390/computation9080088>
19. Khan, A. H., Cao, X., Katsikis, V. N., Stanimirovic, P., Brajevic, I., Li, S. et al. (2020). Optimal Portfolio Management for Engineering Problems Using Nonconvex Cardinality Constraint: A Computing Perspective. *IEEE Access*, 8, 57437–57450. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2020.2982195>
20. Lin, Y., Lin, Z., Liao, Y., Li, Y., Xu, J., Yan, Y. (2022). Forecasting the realized volatility of stock price index: A hybrid model integrating CEEMDAN and LSTM. *Expert Systems with Applications*, 206, 117736. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117736>
21. Liu, X., Guo, J., Wang, H., Zhang, F. (2022). Prediction of stock market index based on ISSA-BP neural network. *Expert Systems with Applications*, 204, 117604. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117604>
22. Aldhyani, T. H. H., Alzahrani, A. (2022). Framework for Predicting and Modeling Stock Market Prices Based on Deep Learning Algorithms. *Electronics*, 11 (19), 3149. doi: <https://doi.org/10.3390/electronics11193149>
23. Kumar, G., Jain, S., Singh, U. P. (2020). Stock Market Forecasting Using Computational Intelligence: A Survey. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28 (3), 1069–1101. doi: <https://doi.org/10.1007/s11831-020-09413-5>
24. Devianto, D., Permathasari, P., Yollanda, M., Wirahadi Ahmad, A. (2020). The Model of Artificial Neural Network and Nonparametric MARS Regression for Indonesian Composite Index. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 846 (1), 012007. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/846/1/012007>
25. Pyo, S., Lee, J., Cha, M., Jang, H. (2017). Predictability of machine learning techniques to forecast the trends of market index prices: Hypothesis testing for the Korean stock markets. *PLOS ONE*, 12 (11), e0188107. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0188107>
26. Verma, P., Dumka, A., Bhardwaj, A., Ashok, A., Kestwal, M. C., Kumar, P. (2021). A Statistical Analysis of Impact of COVID19 on the Global Economy and Stock Index Returns. *SN Computer Science*, 2 (1). doi: <https://doi.org/10.1007/s42979-020-00410-w>
27. Ampomah, E. K., Nyame, G., Qin, Z., Addo, P. C., Gyamfi, E. O., Gyan, M. (2021). Stock Market Prediction with Gaussian Naïve Bayes Machine Learning Algorithm. *Informatica*, 45 (2). doi: <https://doi.org/10.31449/inf.v45i2.3407>
28. Ma, Y., Han, R., Wang, W. (2021). Portfolio optimization with return prediction using deep learning and machine learning. *Expert Systems with Applications*, 165, 113973. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113973>
29. Kamal, S., Sharma, S., Kumar, V., Alshazly, H., Hussein, H. S., Martintez, T. (2022). Trading Stocks Based on Financial News Using Attention Mechanism. *Mathematics*, 10 (12), 2001. doi: <https://doi.org/10.3390/math10122001>
30. Chen, Y., Wu, J., Bu, H. (2018). Stock Market Embedding and Prediction: A Deep Learning Method. 2018 15th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM). doi: <https://doi.org/10.1109/icsssm.2018.8464968>
31. Guarnieri, M. (2012). Looking back to electric cars. 2012 Third IEEE HISTory of ELeCTro-Technology CONference (HISTELCON). doi: <https://doi.org/10.1109/histelcon.2012.6487583>
32. Chou, J.-S., Nguyen, N.-M., Chang, C.-P. (2022). Intelligent candlestick forecast system for financial time-series analysis using metaheuristics-optimized multi-output machine learning. *Applied Soft Computing*, 130, 109642. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.109642>
33. Ferdous, M. M., Chakraborty, R. K., Ryan, M. J. (2022). Multiobjective Automated Type-2 Parsimonious Learning Machine to Forecast Time-Varying Stock Indices Online. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 52 (5), 2874–2887. doi: <https://doi.org/10.1109/tsmc.2021.3061389>
34. Kamara, A. F., Chen, E., Pan, Z. (2022). An ensemble of a boosted hybrid of deep learning models and technical analysis for forecasting stock prices. *Information Sciences*, 594, 1–19. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2022.02.015>
35. Altarawneh, G. A., Hassanat, A. B., Tarawneh, A. S., Abadleh, A., Alrashidi, M., Alghamdi, M. (2022). Stock Price Forecasting for Jordan Insurance Companies Amid the COVID-19 Pandemic Utilizing Off-the-Shelf Technical Analysis Methods. *Economies*, 10 (2), 43. doi: <https://doi.org/10.3390/economies10020043>
36. Christy Jackson, J., Prassanna, J., Abdul Quadir, Md., Sivakumar, V. (2021). WITHDRAWN: Stock market analysis and prediction using time series analysis. *Materials Today: Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.364>
37. Lee, M.-C., Chang, J.-W., Yeh, S.-C., Chia, T.-L., Liao, J.-S., Chen, X.-M. (2022). Applying attention-based BiLSTM and technical indicators in the design and performance analysis of stock trading strategies. *Neural Computing and Applications*, 34 (16), 13267–13279. doi: <https://doi.org/10.1007/s00521-021-06828-4>
38. Banik, S., Sharma, N., Mangla, M., Mohanty, S. N., Shitharth, S. (2022). LSTM based decision support system for swing trading in stock market. *Knowledge-Based Systems*, 239, 107994. doi: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2021.107994>
39. Srivastava, P. R., Zuopeng (Justin) Zhang, Eachempati, P. (2021). Deep Neural Network and Time Series Approach for Finance Systems. *Journal of Organizational and End User Computing*, 33 (5), 204–226. doi: <https://doi.org/10.4018/joeuc.20210901.0a10>
40. Salkar, T., Shinde, A., Tamhankar, N., Bhagat, N. (2021). Algorithmic Trading using Technical Indicators. 2021 International Conference on Communication Information and Computing Technology (ICCICT). doi: <https://doi.org/10.1109/iccict50803.2021.9510135>
41. Uma, K. S., Naidu, S. (2021). Prediction of Intraday Trend Reversal in Stock Market Index Through Machine Learning Algorithms. *Image Processing and Capsule Networks*, 331–341. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-51859-2_30
42. Sharipbay, A., Barlybayev, A., Sabyrov, T. (2016). Measure the Usability of Graphical User Interface. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1037–1045. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-31232-3_98
43. Omarbekova, A., Sharipbay, A., Barlybaev, A. (2017). Generation of Test Questions from RDF Files Using PYTHON and SPARQL. *Journal of Physics: Conference Series*, 806, 012009. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/806/1/012009>
44. Abdygalievich, A. S., Barlybayev, A., Amanzholovich, K. B. (2019). Quality Evaluation Fuzzy Method of Automated Control Systems on the LMS Example. *IEEE Access*, 7, 138000–138010. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2943000>
45. Abdymanapov, S. A., Muratbekov, M., Altynbek, S., Barlybayev, A. (2021). Fuzzy Expert System of Information Security Risk Assessment on the Example of Analysis Learning Management Systems. *IEEE Access*, 9, 156556–156565. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2021.3129488>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286244

THE DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF PROFESSIONAL TRAINING OF AVIATION PERSONNEL PARTICIPATED IN ENSURING FLIGHT SAFETY (p. 88–94)

Nadezhda Dolzhenko

Academy of Civil Aviation, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7339-4907>

The object of the study is the system of training aviation specialists. The problem solved in the research is to increase the efficiency of

decision making in the tasks of professional training of pilots while ensuring a given reliability, regardless of the hierarchy of the system of evaluation indicators. The subject of the research is the process of assessing the qualities of civil aviation pilots using fuzzy cognitive maps. The hypothesis of the research is to increase the number of indicators for assessing the quality of training of civil aviation pilots, with restrictions on the efficiency and reliability of decision making. The list of factors that influence the professional training of aviation personnel involved in ensuring flight safety is given.

A mathematical model of professional training of aviation personnel involved in ensuring flight safety has been developed. This mathematical model differs from the previously known results:

- the possibility of forming a generalized indicator of assessment and selection of decisions on the basis of changing sets of partial indicators, taking into account the complex multi-level structure of assessment of aviation personnel;
- the ability to aggregate heterogeneous indicators (both quantitative and qualitative) to assess and select solutions that differ in measurement scales and value ranges;
- taking into account compatibility and different values of partial indicators in the generalized assessment of decisions;
- flexible adjustment (adaptation) of evaluation models when adding (removing) indicators and changing their parameters (compatibility and significance of indicators).

According to the results of the analysis of the effectiveness of the proposed model, it can be seen that the proposed assessment model takes into account 30 % more assessment indicators than standardized ones.

Keywords: fuzzy cognitive models, aviation personnel, civil aviation, flight safety, aviation.

References

1. Rodionov, M. A. (2010). *Informatsionno-analiticheskoe obespechenie upravlencheskikh resheniy*. Moscow: MIGSU, 400.
2. Degtyarev, V. S., Mashoshin, O. F., Degtyareva, A. V. (2021). Upset recovery training for civil aviation pilots. *Civil Aviation High Technologies*, 24 (1), 8–15. doi: <https://doi.org/10.26467/2079-0619-2021-24-1-8-15>
3. International Civil Aviation Convention. Appendix 6. Aircraft Operation. Part I. International commercial air transport. Aircraft (2016). ICAO.
4. Mayorova, Yu. A., Guziy, A. G. (2015). Pilot Fatigue as the Psychophysiological Factor of Risk to Flight Safety. *Psychology and Psychotechnics*, 7, 707–716. doi: <https://doi.org/10.7256/2070-8955.2015.7.15222>
5. Aydarkin, D. V., Kachan, D. V., Kosachevskiy, S. G. (2017). Razrabotka kriteriev dlya otsenki protsessy formirovaniya navykov pilotirovaniya v khode pervonachalnogo letnogo obucheniya pilotov. *Nauchnyy vestnik UI GA*, 9, 91–97.
6. Onykiy, B., Artamonov, A., Ananieva, A., Tretyakov, E., Pronicheva, L., Ionkina, K., Suslina, A. (2016). Agent Technologies for Polythematic Organizations Information-Analytical Support. *Procedia Computer Science*, 88, 336–340. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.445>
7. Manea, E., Di Carlo, D., Depellegrin, D., Agardy, T., Gissi, E. (2019). Multidimensional assessment of supporting ecosystem services for marine spatial planning of the Adriatic Sea. *Ecological Indicators*, 101, 821–837. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.017>
8. Xing, W., Goggins, S., Introne, J. (2018). Quantifying the Effect of Informational Support on Membership Retention in Online Communities through Large-Scale Data Analytics. *Computers in Human Behavior*, 86, 227–234. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.04.042>
9. 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.079>
10. Çavdar, A. B., Ferhatosmanoğlu, N. (2018). Airline customer lifetime value estimation using data analytics supported by social network information. *Journal of Air Transport Management*, 67, 19–33. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.10.007>
11. Ballester-Caudet, A., Campins-Falcó, P., Pérez, B., Sancho, R., Lorente, M., Sastre, G., González, C. (2019). A new tool for evaluating and/or selecting analytical methods: Summarizing the information in a hexagon. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 118, 538–547. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.06.015>
12. 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025>
13. 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023>
14. Chen, H. (2018). Evaluation of Personalized Service Level for Library Information Management Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Procedia Computer Science*, 131, 952–958. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.233>
15. 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113114>
16. Rybak, V. A., Shokr, A. (2016). Analysis and comparison of existing decision support technology. *System analysis and applied information science*, 3, 12–18.
17. Rodionov, M. A. (2014). Problems of information and analytical support of contemporary strategic management. *Civil Aviation High Technologies*, 202, 65–69.
18. Bednář, Z. (2018). Information Support of Human Resources Management in Sector of Defense. *Vojenské rozhledy*, 27 (1), 45–68.

АНОТАЦІЇ

MATHEMATICS AND CYBERNETICS – APPLIED ASPECTS

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.285997

РОЗРОБКА РІЗНОТИПНИХ ОПЕРАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ СОРТУВАННЯ ДВІЙКОВИХ ДАНИХ (с. 6–18)**В. М. Грига, Б. С. Дзундза, С. І. Мельничук, І. З. Мануляк, А. І. Терлецький, М. В. Дейчаківський**

Об'єктом дослідження є процес проектування апаратних пристроїв сортування масивів двійкових даних з використанням методології просторово-часових графів. Основною проблемою, яка вирішується в роботі, є розроблення та дослідження багатотактових операційних пристроїв сортування двійкових даних з метою вибору оптимальної структури з наперед заданими технічними характеристиками для вирішення задачі сортування. Як приклад, показано розробку різнотипних структур багатотактових операційних пристроїв сортування методом «парно-непарної» перестановки та визначено їх системні характеристики.

Розроблено нові структури багатотактових операційних пристроїв, для заданого алгоритму сортування та наведено аналітичні вирази для розрахунку затрат обладнання та їх швидкодії. Проведено порівняльний аналіз апаратної та часової складності розроблених структур пристроїв сортування двійкових чисел різних типів з відомими реалізаціями алгоритмічних та конвеєрних операційних пристроїв. В результаті запропоновані структури при сортуванні великих масивів двійкових даних ($N > 128$) мають на порядок меншу апаратну складність за рахунок послідовного виконання однотипних операцій. Часова складність багатотактових операційних пристроїв комбінованого і послідовного типів при великих значеннях вхідних даних є в 2,3 і 3,4 рази меншою ніж у відомих конвеєрних операційних пристроях.

Особливістю отриманих результатів дослідження є можливість знаходження оптимального співвідношення між апаратними та часовими характеристиками отриманих структур пристроїв сортування. Завдяки цьому проектувальник зможе вибрати необхідний тип пристрою для реалізації відповідної задачі із оптимальними системними характеристиками.

Сферою застосування розроблених пристроїв сортування є задачі цифрової обробки сигналів і зображень. Практичне використання розроблених пристроїв сортування може бути здійснене у вигляді їх синтезу на програмовних інтегральних логічних схемах.

Ключові слова: метод «парно-непарної» перестановки, багатотактовий операційний пристрій, просторово-часовий граф, потоковий граф, алгоритм, синтез, функціональний оператор, пристрій сортування, двійкові дані, моделювання.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286164

РОЗРОБКА МЕТОДУ ЗАГАЛЬНОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ ДЛЯ Z-ЧИСЛО-ЗНАЧНИХ ПРАВИЛ ЯКЩО-ТОДІ (с. 19–26)**Konul Jabbarova, Ulviyya Rzayeva, Aynur Jabbarova**

Методи на основі інтерполяції правил використовуються, коли база правил розріджена. Часто буває так, оскільки інформація, що стосується проблем реального світу, зазвичай не є вичерпною. При цьому релевантна інформація часто характеризується як нечіткістю, так і частковою достовірністю. Для роботи з такою інформацією Заде ввів поняття Z-числа. Ця стаття присвячена розширенню загального методу інтерполяції для нечітких правил на випадок правил якщо-тоді з антецедентами та наслідками зі значеннями Z-числа. Запропонований підхід ґрунтується на визначенні відстані між поточним вектором спостереження та векторами антецедентів правил. Визначаючи відстань між поточним вектором і антецедентами правил, можна приймати рішення на основі найближчих антецедентів. У цьому контексті антецеденти правил – це вектори, які представляють певні умови. Отриманий результат обчислюється як зважена сума наслідків правил. Вагові коефіцієнти використовуються для врахування важливості кожного правила в інтерполяції на основі згаданих значень відстані знайдено ваги інтерполяції. Результати цього дослідження спрямовані на розробку підходу до прийняття рішень з точки зору Z-значної інформації. Метод характеризується відносно низькою обчислювальною трудомісткістю. Для ілюстрації запропонованого підходу використовуються два приклади та додаток. Стосовно застосування запропонованого підходу розглядається проблема оцінки задоволеності роботою. Отже, отримані результати підтверджують ефективність запропонованого підходу. Запропонований метод може бути корисним інструментом для прийняття рішень у різних додатках, особливо там, де висока обчислювальна складність є неприйнятною або непрактичною.

Ключові слова: Z-число, нечітке число, часткова надійність, правила якщо-тоді, інтерполяція, відстань, ваги.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.284315

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПОШУКУ РІШЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ УДОСКОНАЛЕНОГО АЛГОРИТМУ КОСЯКІВ РИБ (с. 27–33)**Aqeel Bahr Tarkhan, Ю. В. Журавський, А. В. Шишацький, Т. В. Плугіна, В. П. Дудник, І. П. Кіріс, О. Л. Налапко, Н. М. Протас, С. М. Неронов, В. В. Нечипорук**

Об'єктом дослідження є системи підтримки прийняття рішень. Предметом дослідження є процес прийняття рішення в задачах управління за допомогою алгоритму косяків риб (КР), удосконаленого генетичного алгоритму та штучних нейронних мереж, що еволюціонують.

Запропоновано методику пошуку рішень з використанням удосконаленого алгоритму КР. В основу дослідження покладений алгоритм КР – для пошуку рішення щодо стану об'єкту. Для навчання КР – використовуються штучні нейронні мережі, що еволюціонують. Методика має наступну послідовність дій:

- введення вихідних даних;
- оброблення вихідних даних з урахуванням ступеню невизначеності;
- перевірка функції придатності знайденого рішення;
- процедура годівлі агентів риб (АР);
- інстинктивно-колективне плавання АР;
- обчислення центру тяжіння косяка;
- колективно-вольове плавання АР;

- зміна параметрів плавання AP;
- навчання баз знань AP.

Оригінальність запропонованої методики полягає у розставленні AP з урахуванням невизначеності вихідних даних, удосконаленими процедурами глобального та локального опущу з урахуванням ступеню зашумленості даних про стан об'єкту аналізу. Особливість запропонованої методики полягає в використанні удосконаленої процедури навчання AP. Процедура навчання полягає в тому, що відбувається навчання синаптичних ваг штучної нейронної мережі, типу та параметрів функції належності, а також архітектури окремих елементів і архітектури штучної нейронної мережі в цілому. Використання методики дозволяє досягти підвищення оперативності обробки даних на рівні 18–25 % за рахунок використання додаткових удосконалених процедур. Запропоновану методику доцільно використовувати для вирішення задач оцінки складних та динамічних процесів в інтересах вирішення завдань національної безпеки.

Ключові слова: мультіагентні системи, системи підтримки прийняття рішень, складні процеси, алгоритм косяків риб.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.281731

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОГО ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО РЕСУРСУ ПЛІС ДЛЯ РОЗМІЩЕННЯ НА НІЙ БАГАТОШАРОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ (с. 34–45)

Bekbolat Medetov, Tansaule Serikov, Arai Tolegenova, Dauren Zhexebay, Asset Yskak, Timur Namazbayev, Nurtay Albanbay

У роботі об'єктом дослідження є реалізація штучних нейронних мереж (ШНМ) на ПЛІС. Вирішуваною задачею є побудова математичної моделі, що використовується для визначення відповідності обчислювальних ресурсів ПЛІС вимогам нейронних мереж залежно від їх типу, структури та розміру. У якості обчислювального ресурсу ПЛІС розглядається кількість її ТП (таблиця пошуку – базова структура ПЛІС, що виконує логічні операції). Пошук необхідної математичної моделі проводився шляхом експериментальних вимірювань необхідної кількості ТП для реалізації на ПЛІС наступних типів ШНМ:

- БШП (багатошаровий перцептрон);
- ДКЧП (довга короткочасна пам'ять);
- ЗНМ (згортовка нейронна мережа);
- СНМ (спайкова нейронна мережа);
- ГЗМ (генеративно-змагальна мережа).

Експериментальні дослідження проводилися на ПЛІС моделі HAPS-80 S52, в ході яких вимірювалася необхідна кількість ТП в залежності від кількості шарів та кількості нейронів на кожному шарі для вищевказаних типів ШНМ. В результаті дослідження були визначені конкретні типи функцій залежно від необхідної кількості ТП для типу, кількості шарів і нейронів для найбільш часто використовуваних на практиці типів ШНМ.

Особливістю отриманих результатів є те, що з досить високою точністю вдалося визначити аналітичний вид функцій, що описують залежність необхідної кількості ТП ПЛІС для реалізації на ній різних ШНМ. Згідно з розрахунками, ГЗМ використовує в 17 разів менше ТП порівняно з ЗНМ. А СНМ і БШП використовують в 80 і 14 разів менше ТП в порівнянні з ДКЧП. Отримані результати можуть бути використані в практичних цілях при необхідності вибору будь-якої ПЛІС для реалізації на ній ШНМ певного типу і структури.

Ключові слова: ПЛІС, БШП, ДКЧП, ЗНМ, СНМ, ГЗМ.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.281986

НОВИЙ ПІДХІД ДО РОЗРОБКИ АРХІТЕКТУРИ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ МЕТАЕВРИСТИЧНОГО ПІДХОДУ ПРОТИСТА (с. 46–59)

Tengku Henny Febriana Harumy, Muhammad Zarlis, Maya Silvi Lydia, Syahril Efendi

Предметом дослідження є визначення найкращої моделі архітектури нейронної мережі та способів оптимізації архітектури за допомогою метаевристичного підходу протиста. Існує необхідність у всебічному дослідженні і використанні метаевристичних методів. Ці методи спрямовані на вирішення завдань та адаптацію до способу життя протиста амеби. У дослідженні запропонований метод модифікує життєвий цикл амеби, що складається з чотирьох фаз: профазы, метафазы, анафазы та телофазы. Ці чотири фази модифіковані в архітектурі нейронної мережі для оптимізації відповідної кількості прихованих шарів та створення ефективної моделі архітектури. Результати показують, що підхід протиста оптимізує архітектуру нейронної мережі, особливо при створенні прихованих шарів для вдосконалення моделі нейронної мережі. Відмінною особливістю отриманих результатів є те, що середній діапазон вироджених нейронів у прихованому шарі становить від 0 до 35 нейронів у кожному шарі. Стандартна кількість нейронів дозволяє вирішити задачу визначення найкращої моделі архітектури нейронної мережі. Алгоритм протиста, вбудований у рекурентну нейронну мережу протиста для вимірювання категоріальних даних, дає середнє значення RMSE, що представляє різницю між фактичними вимірами та прогнозами 0,066.

Отже, розроблена модель перевершує за продуктивністю існуючу класичну модель нейронної мережі. Що стосується точності, алгоритм протиста, вбудований у нейронну мережу для категоріальних даних та даних часових рядів, забезпечує середню точність 0,952 та повноту 0,950. Згортовка нейронна мережа протиста забезпечує точність 95,9 %. Таким чином, із трьох протестованих наборів даних згортовка нейронна мережа протиста демонструє найвище значення точності.

Ключові слова: нейронна мережа, штучний інтелект, оптимізація прихованого шару, глибока нейронна мережа.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286376

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПІДМЕРЕЖІ З КОМУТАЦІЄЮ ПАКЕТІВ (с. 60–71)

Roza Mukasheva, Zhenisgul Rakhmetullina, Indira Uvaliyeva, Raushan Mukhamedova, Farida Amenova

В даний час трафік даних швидко зростає, а забезпечення оптимальної продуктивності мережі та ефективне управління потоками даних стали найважливішими завданнями. У цьому контексті якість мережевого обслуговування відіграє вирішальну роль у досяг-

ненні цих цілей. У цій статті пропонується підхід до вирішення проблеми ефективного обслуговування в ISDN. А саме, оптимізація розподілу ресурсів між підмережами з комутацією каналів і пакетної комутацією в ISDN для розрахунку оптимальних характеристик якості обслуговування.

У процесі аналізу проекту ISDN складається завдання оптимізації, де оцінка служби підмережі з комутацією пакетів використовується в якості цільової функції, а оцінка служби підмережі з комутацією каналів використовується в якості одного з обмежень для цього завдання. Щоб розрахувати основні характеристики підмережі з комутацією пакетів, підмережа розглядається як сервісна система із затримкою.

У ході дослідження були визначені методи оптимального переміщення узагальненої межі каналу між підмережами комутації каналів і пакетної комутації в залежності від параметрів даних і стану інтегрованої мережі, що дозволило розробити оптимальну математичну модель оптимального управління узагальненою межею. Для обчислення пропускної здатності для підмереж з комутацією каналів та пакетів був складений алгоритм для реалізації отриманої моделі та скомпільована програма C++.

Вивчення узагальненої межі та динамічного перерозподілу пропускної здатності між підмережами є новим підходом до оптимізації мережі.

Результати засновані на використанні класичної формули Ерланга для систем з відмовами в обслуговуванні і на планах розподілу навантаження, що дозволяє ефективно управляти процесом технічного обслуговування в мережі.

Ключові слова: комутація каналів, пакетна комутація, математична модель, функція якості обслуговування, смуга пропускання, метод Лагранжа.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.281138

РОЗРОБКА НЕЙРО-НЕЧІТКОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ АКЦІЙ КОМПАНІЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ (с. 72–87)

Alibek Barlybayev, Lena Zhetkenbay, Didar Karimov, Banu Yergesh

Адаптивна нейронечітка система висновку (ANFIS) – це тип нейронної мережі, яка поєднує в собі сильні сторони як нечіткої логіки, так і штучних нейронних мереж. ANFIS є особливо корисним у біржовій торгівлі, оскільки він може справлятися з невизначеністю та неточністю даних, що часто зустрічається в даних фондового ринку. У біржовій торгівлі ANFIS можна використовувати для різноманітних цілей, наприклад для прогнозування цін на акції, виявлення прибуткових угод і виявлення тенденцій фондового ринку. Однією з ключових переваг використання ANFIS для біржової торгівлі є те, що він може обробляти як лінійні, так і нелінійні зв'язки в даних. Це особливо корисно на фондовому ринку, де зв'язки між різними змінними часто складні та нелінійні. ANFIS також можна оновлювати та перенавчати в міру появи нових даних, що дозволяє адаптуватися до мінливих умов ринку. Тому основна гіпотеза цієї роботи полягає в тому, щоб зрозуміти, чи можна спрогнозувати динаміку цін на акції компаній в секторі електромобілів (EV) за допомогою індикаторів технічного аналізу. Метою цієї роботи є створення моделі для прогнозування цін компаній у секторі електромобілів. Індикатори технічного аналізу були оброблені кількома моделями машинного навчання. Лінійні моделі зазвичай працюють гірше, ніж більш просунуті методи. Дерева рішень, будь то точні чи грубі, мають тенденцію давати гірші результати продуктивності з точки зору RMSE, MSE та MAE. Після проведення аналізу даних моделі ANFIS і BR-BPNN були визнані найефективнішими. ANFIS було навчено протягом 2000 епох, що дало мінімальний RMSE 5,90926.

Ключові слова: прогнозування курсу акцій, кореляція технічних індикаторів, нейронна мережа, адаптивна нейронечітка система логічного висновку, сектор електромобілів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286244

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ АВІАЦІЙНОГО ПЕРСОНАЛУ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТІВ (с. 88–94)

Nadezhda Dolzhenko

Об'єктом дослідження є система підготовки авіаційних спеціалістів. Завдання, яке вирішується в дослідженні, полягає в підвищенні ефективності прийняття рішень у задачах професійної підготовки пілотів при забезпеченні заданої надійності незалежно від ієрархії системи оціночних показників. Предметом дослідження є процес оцінювання якостей пілотів цивільної авіації за допомогою нечітких когнітивних карт. Гіпотеза дослідження полягає у збільшенні кількості показників оцінки якості підготовки пілотів цивільної авіації з обмеженнями щодо оперативності та достовірності прийняття рішень. Наведено перелік факторів, що впливають на професійну підготовку авіаційного персоналу, залученого до забезпечення безпеки польотів.

Розроблено математичну модель професійної підготовки авіаційного персоналу, який бере участь у забезпеченні безпеки польотів. Ця математична модель відрізняється від раніше відомих результатів:

- можливістю формування узагальненого показника оцінки та вибору рішень на основі змінних наборів часткових показників з урахуванням складної багаторівневої структури оцінки авіаційного персоналу;
- здатністю агрегувати різномірні показники (як кількісні, так і якісні) для оцінки та вибору рішень, що відрізняються шкалами вимірювання та діапазонами значень;
- врахуванням сумісності та різних значень часткових показників в узагальненій оцінці рішень;
- гнучким налаштуванням (адаптація) моделей оцінювання при додаванні (вилученні) показників та зміні їх параметрів (сумісності та значущості показників).

За результатами аналізу ефективності запропонованої моделі видно, що запропонована модель оцінки враховує на 30 % більше показників оцінки, ніж стандартизовані.

Ключові слова: нечіткі когнітивні моделі, авіаційний персонал, цивільна авіація, безпека польотів, авіація.