

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.218517**  
**COMPUTER SIMULATION OF MULTIPLE MEASUREMENTS OF LOGARITHMIC TRANSFORMATION FUNCTION BY TWO APPROACHES (p. 6–13)**

**Volodymyr Shcherban'**

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-4274-4425>

**Ganna Korogod**

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-1670-3125>

**Oksana Kolysko**

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-4043-1238>

**Mariana Kolysko (Sholudko)**

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-9982-7264>

**Yury Shcherban'**

State Higher Educational Establishment «Kyiv College of Light Industry», Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5024-8387>

**Ganna Shchutska**

State Higher Educational Establishment «Kyiv College of Light Industry», Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7182-8556>

The studies of the capabilities of redundant measurement methods revealed the high efficiency of the presented methods in increasing the accuracy of multiple measurements. It was proved that redundant measurement equations ensure the independence of the measurement result from the parameters of the transformation function and their deviations from the nominal values. Experimental studies have confirmed that the accuracy of multiple measurements is increased by processing the results of intermediate measurements using equations of redundant measurements by two approaches. In particular, it was found that processing the results of multiple measurements with the logarithmic transformation function with the first approach provides the value of the relative error of  $0.75 \cdot 10^{-3} \%$ , and the second –  $0.02 \cdot 10^{-3} \%$ . This suggests that the increase in accuracy is due to the total effect of the elimination of the systematic error component due to changes in the parameters of the transformation function and reduction of the random error component. The latter, in particular, concerns the algorithms for processing multiple measurements by two approaches. A comparative analysis was made, the advantages and disadvantages of each of the two approaches were determined. It was found that the second approach is less sensitive to an increase in the difference between the values of the controlled and normalized quantities. This allows us to state the possibility of measuring the controlled parameter ( $F_x$ ) of a large value without imposing high requirements on the power of the calibrated radiation source.

There is reason to assert about the promising development of redundant measurement methods in the processing of the results of multiple measurements in the field of increasing accuracy with the nonlinear transformation function.

**Keywords:** redundant methods, multiple measurements, measurement equation, function parameters, accuracy increase.

**References**

1. Shcherban', V., Melnyk, G., Sholudko, M., Kalashnyk, V. (2018). Warp yarn tension during fabric formation. *Fibres and Textiles*, 2, 97–104. Available at: [http://vat.ft.tul.cz/2018/2/VaT\\_2018\\_2\\_16.pdf](http://vat.ft.tul.cz/2018/2/VaT_2018_2_16.pdf)
2. Shcherban', V., Melnyk, G., Sholudko, M., Kolysko, O., Kalashnyk, V. (2018). Yarn tension while knitting textile fabric. *Fibres and Textiles*, 3, 74–83. Available at: [http://vat.ft.tul.cz/2018/3/VaT\\_2018\\_3\\_12.pdf](http://vat.ft.tul.cz/2018/3/VaT_2018_3_12.pdf)
3. Pronin, A. N., Sapozhnikova, K. V., Taymanov, R. E. (2015). Reliability of measurement information in control systems. Problems and their solution. *T-Comm.*, 9 (3), 32–37. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/dostovernost-izmeritelnoy-informatsii-v-sistemah-upravleniya-problemy-i-resheniya/viewer>
4. Genkina, R. I., Lukashov, Yu. E., Malikova, H. O., Osoka, I. V., Skovorodnikov, V. A. (2010). Govorim VNIIMS, podrazumevaem – zakonodatel'naya metrologiya! *Zakonodatel'naya i prikladnaya metrologiya*, 5, 8–15.
5. Rishan, O. Y., Matvienko, N. V. (2014). Strukturni metody pidvyshchennia tochnosti vymiriuvan v avtomatychnykh systemakh dozuvannia sypkykh materialiv z vykorystanniam mahnitoprzhnykh pervynnykh vymiriualnykh peretvoriuvachiv zusyillia. *Naukovo-tekhnichna informatsiya*, 4, 47–51. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/NTI\\_2014\\_4\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/NTI_2014_4_11)
6. Yanenko, O. P., Mikhailenko, S. V., Lisnichuk, A. S. (2014). Radiometric modulation measuring device of intensity of optical radiation. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi instytut»*. Ser.: Radiotekhnika. Radioaparaturbuduvannia, 56, 96–101. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI\\_rr\\_2014\\_56\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI_rr_2014_56_11)
7. Munoz Zurita, A. L., Campos, J., Ferrero, A., Pons, A. (2012). Photodiodes as Optical Radiation Measurement Standards. *Photodiodes – From Fundamentals to Applications*. doi: <https://doi.org/10.5772/51462>
8. Shcherban', V., Makarenko, J., Petko, A., Melnyk, G., Shcherban', Y., Shchutska, H. (2020). Computer implementation of a recursion algorithm for determining the tension of a thread on technological equipment based on the derived mathematical dependences. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (104)), 41–50. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.198286>
9. Su, Z., Liang, X. (2011). Computation and analysis on the Volt-Ampere characteristics of photodiode sensor under the certain conditions. *2011 4th International Congress on Image and Signal Processing*. doi: <https://doi.org/10.1109/cisp.2011.6100750>
10. Shcherban', V., Melnyk, G., Sholudko, M., Kolysko, O., Kalashnyk, V. (2019). Improvement of structure and technology of manufacture of multilayer technical fabric. *Fibres and Textiles*, 2, 54–63. Available at: [http://vat.ft.tul.cz/2019/2/VaT\\_2019\\_2\\_10.pdf](http://vat.ft.tul.cz/2019/2/VaT_2019_2_10.pdf)
11. Cherepanska, I. Yu., Bezvesilna, O. M., Sazonov, A. Yu. (2016). Do pytannia pidvyshchennia tochnosti kutovykh vymiriuvan honiometrychnymy systemamy. *Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky*, 1 (76), 92–100. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhdntu\\_2016\\_1\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhdntu_2016_1_12)
12. Haridy, M. A., Aslam, A. (2018). Optical Radiation Metrology and Uncertainty. *Metrology*. doi: <https://doi.org/10.5772/intechopen.75205>
13. Shcherban', V., Makarenko, J., Melnyk, G., Shcherban', Y., Petko, A., Kirichenko, A. (2019). Effect of the yarn structure on the tension degree when interacting with high-curved guide. *Fibres and Textiles*, 4, 59–68. Available at: [http://vat.ft.tul.cz/2019/4/VaT\\_2019\\_4\\_8.pdf](http://vat.ft.tul.cz/2019/4/VaT_2019_4_8.pdf)

14. Fan, Z., Gao, R. X., Wang, P., Kazmer, D. O. (2016). Multi-sensor data fusion for improved measurement accuracy in injection molding. 2016 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings. doi: <https://doi.org/10.1109/i2mtc.2016.7520465>
15. Orozco, L. (2011). Optimizing Precision Photodiode Sensor Circuit Design. Analog devices. Available at: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/tech-articles/Optimizing-Precision-Photodiode-Sensor-Circuit-Design-MS-2624.pdf>
16. Lewis, G., Merken, P., Vandewal, M. (2018). Enhanced Accuracy of CMOS Smart Temperature Sensors by Nonlinear Curvature Correction. *Sensors*, 18 (12), 4087. doi: <https://doi.org/10.3390/s18124087>
17. Shcherban, V., Korogod, G., Chaban, V., Kolysko, O., Shcherban', Y., Shchutka, G. (2019). Computer simulation methods of redundant measurements with the nonlinear transformation function. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (5 (98)), 16–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160830>
18. Kondratov, V. T. (2009). Teoriya izbytochnykh izmereniy: universal'noe uravnenie izmereniy. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky*, 5, 116–129. Available at: [http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2009\\_5/zmist.files/23kon.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2009_5/zmist.files/23kon.pdf)
19. Kondratov, V. T. (2010). Metody izbytochnykh izmereniy: osnovnyye opredeleniya i klassifikatsiya. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky*, 3, 220–232. Available at: [http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2010\\_3/47kon.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2010_3/47kon.pdf)
20. Soboleva, N. A., Melamid, A. E. (1974). *Fotoelektronnye pribory*. Moscow: Vysshaya shkola, 376.
21. Kondratov, V. T. (2007). Matematicheskie modeli izbytochnykh izmereniy I-go, II-go i III-go rodov. *Fundamental'nye i prikladnye problemy priborostroeniya, informatiki i ekonomiki: nauchnye trudy X-y Yubileynoy Mezhdunar. nauch.-tehn. konf.* Moscow: MGU PI, 134–143.
22. Kondratov, V. T. (2015). Problems of processing of results repeated measuring transformations of physical quantity. *Tezisy dokladov 15-y mezhdunar. nauch.-tehn. konf. «Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh» (VOTTP-15 2015)*. Odessa, 9–12.

DOI: [10.15587/1729-4061.2020.217630](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217630)

#### DEVELOPMENT OF METHODS FOR EXTENSION OF THE CONCEPTUAL AND ANALYTICAL FRAMEWORK OF THE FUZZY SET THEORY (p. 14–21)

Lev Raskin

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

Oksana Sira

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

Fuzzy set theory is an effective alternative to probability theory in solving many problems of studying processes and systems under conditions of uncertainty. The application of this theory is especially in demand in situations where the system under study operates under conditions of rapidly changing influencing parameters or characteristics of the environment. In these cases, the use of solutions obtained by standard methods of the probability theory is not quite correct. At the same time, the conceptual, methodological and hardware base of the alternative fuzzy set theory is not sufficiently developed. The paper attempts to fill existing gaps in the fuzzy set theory in some important areas. For continuous fuzzy quantities, the concept of distribution density of these quantities is introduced. Using this concept, a method for calculating the main numerical characteristics of fuzzy quantities, as well as a technology for calculating membership functions for fuzzy

values of functions from these fuzzy quantities and their moments is proposed. The introduction of these formalisms significantly extends the capabilities of the fuzzy set theory for solving many real problems of computational mathematics. Using these formalisms, a large number of practical problems can be solved: fuzzy regression and clustering, fuzzy multivariate discriminant analysis, differentiation and integration of functions of fuzzy arguments, state diagnostics in a situation where the initial data are fuzzy, methods for solving problems of unconditional and conditional optimization, etc. The proof of the central limit theorem for the sum of a large number of fuzzy quantities is obtained. This proof is based on the characteristic functions of fuzzy quantities introduced in the work and described at the formal level. The concepts of independence and dependence for fuzzy quantities are introduced. The method for calculating the correlation coefficient for fuzzy numbers is proposed. Examples of problem solving are considered.

**Keywords:** distribution density of fuzzy quantities, moments, characteristic functions, limit theorem, correlation coefficient.

#### References

1. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8 (3), 338–353. doi: [https://doi.org/10.1016/s0019-9958\(65\)90241-x](https://doi.org/10.1016/s0019-9958(65)90241-x)
2. Negoytse, K. (1981). *Primenenie teorii sistem k problemam uravleniya*. Moscow: MIR, 219.
3. Orlovskiy, S. A. (1981). *Problemy prinyatiya resheniy pri nechetkoy informatsii*. Moscow: Nauka, 264.
4. Dyubua, D., Prad, A. (1990). *Teoriya vozmozhnostey. Prilozhenie k predstavleniyu znaniy v informatike*. Moscow: Radio i svyaz', 286.
5. Kofman, A. (1982). *Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv*. Moscow: Radio i svyaz', 486.
6. Lyu, B. (2005). *Teoriya i praktika neopredelenogo programmirovaniya*. Moscow: BINOM, 416.
7. Leonenkov, A. V. (2003). *Nechetkoe modelirovanie v srede Matlab i fuzzyTech*. Sankt-Peterburg: BHV – Peterburg, 736.
8. Raskin, L. G., Seraya, O. V. (2008). *Nechetkaya matematika*. Kharkiv: Parus, 352.
9. Ryzhov, A. P. (1998). *Elementy teorii nechetkikh mnozhestv i izmereniya nechetkosti*. Moscow: Dialog MGU, 116.
10. Borisov, V. V., Fedulov, A. S., Zernov, M. M. (2014). *Osnovy teorii nechetkikh mnozhestv*. Moscow: Goryachaya Liniya – Telekom, 88.
11. Ponomarev, A. S. (2005). *Nechetkie mnozhestva v zadachah avtomatizirovannogo upravleniya i prinyatiya resheniy*. Kharkiv: NTU «KhPI», 232.
12. Yahyaeva, G. (2012). *Nechetkie mnozhestva i neyronnye seti*. Moscow: Internet-Universitet Informatsonnykh tehnologiy; BINOM. Laboratoriya znaniy, 316.
13. Borisov, V. V., Kruglov, V. V., Fedulov, A. S. (2007). *Nechetkie modeli i seti*. Moscow: Goryachaya Liniya – Telekom, 284.
14. Zimmermann, H.-J. (2010). Fuzzy set theory. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2 (3), 317–332. doi: <https://doi.org/10.1002/wics.82>
15. Timm, H., Borgelt, C., Döring, C., Kruse, R. (2004). An extension to possibilistic fuzzy cluster analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 147 (1), 3–16. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fss.2003.11.009>
16. Gottwald, S. (2006). *Universes of Fuzzy Sets and Axiomatizations of Fuzzy Set Theory. Part I: Model-Based and Axiomatic Approaches*. *Studia Logica*, 82 (2), 211–244. doi: <https://doi.org/10.1007/s11225-006-7197-8>
17. Kremer, N. Sh. (2004). *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika*. Moscow: YUNITI – DANA, 573.
18. Chernova, N. I. (2007). *Teoriya veroyatnostey*. Novosibirsk, 160.
19. Natan, A. A., Gorbachev, O. G., Guz, S. A. (2007). *Teoriya veroyatnostey*. Moscow: MFTI, 253.
20. Raskin, L., Sira, O., Ivanchykhin, Y. (2017). Models and methods of regression analysis under conditions of fuzzy initial data. *Eastern-*

- European Journal of Enterprise Technologies, 4 (4 (88)), 12–19. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.107536>
21. Raskin, L., Sira, O., Karpenko, V. (2017). Calculation of throughputs of intermediate centers in three-index transportation problems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (4 (87)), 31–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.103950>
  22. Raskin, L., Sira, O., Karpenko, V. (2019). Transportation management in a distributed logistic consumption system under uncertainty conditions. EUREKA: Physics and Engineering, 4, 82–90. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2019.00936>
  23. Pawlak, Z. (1991). Rough Sets: Theoretical Aspects of Reasoning about Data. Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-94-011-3534-4>
  24. 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>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216662**

**DEVELOPMENT OF A COMPLEX METHOD FOR FINDING A SOLUTION FOR NEURO-FUZZY EXPERT SYSTEMS (p. 22–34)**

**Oleg Sova**

Military Institute of Telecommunication and Information Technologies named after the Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7200-8955>

**Andrii Shyshatskyi**

Central Scientifically-Research Institute of Arming and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6731-6390>

**Dmytro Malitskyi**

National Defense University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6822-4869>

**Oleksandr Zhuk**

Military Institute of Telecommunication and Information Technologies named after the Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3546-1507>

**Oleksandr Gaman**

Military Institute of Telecommunication and Information Technologies named after the Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-4676-3321>

**Valerii Hordiichuk**

Institute of Naval Forces National University «Odessa Maritime Academy», Odessa, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3665-4201>

**Vitalii Fedoriienko**

National Defense University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-0921-3390>

**Andrii Kokoiko**

National Defense University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6461-5993>

**Vitalii Shevchuk**

National Defense University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-8532-739x>

**Mykhailo Sova**

Military Institute of Telecommunication and Information Technologies named after the Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-4487-9099>

Artificial intelligence has become the backbone of modern decision support systems. This is why a complex method for finding solutions for neuro-fuzzy expert systems has been developed. The proposed complex

method is based on a mathematical model for the analysis of the operational situation. The model makes it possible to determine the parameters of the analysis of the operational situation, their influence on the quality of assessment of the operational situation and to determine their number with units of measurement. An increase in the efficiency of information processing (error reduction) of the assessment is achieved by the use of evolving neuro-fuzzy artificial neural networks. Training of evolving neuro-fuzzy artificial neural networks is carried out by training not only synaptic weights of the artificial neural network, the type, parameters of the membership function, but also by applying the procedure for reducing the dimension of the feature space. The efficiency of information processing is also achieved by training the architecture of artificial neural networks; accounting for the type of uncertainty in the information to be assessed; work with both clear and fuzzy data. We achieved a reduction in computational complexity while making decisions; the absence of errors in training artificial neural networks as a result of processing information entering the input of artificial neural networks. The analysis of the operational situation as a whole occurs due to the improved clustering procedure, which allows working with both static and dynamic data. The proposed complex method was tested on the example of assessing the state of the operational situation. The mentioned example showed an increase in assessment efficiency at the level of 20–25 % in terms of information processing efficiency.

**Keywords:** artificial intelligence, operational situation, intelligent systems, decision support systems.

**References**

1. Bashkyrov, O. M., Kostyna, O. M., Shyshatskyi, A. V. (2015). Rozvytok integrovanykh system zviazku ta peredachi danykh dlia potreb Zbroinykh Syl. Ozbroiennia ta viyskova tekhnika, 1, 35–39.
2. Trotsenko, R. V., Bolotov, M. V. (2014). Data extraction process for heterogeneous sources. Privolzhskiy nauchnyy vestnik, 12-1 (40), 52–54.
3. Bodyanskiy, E., Strukov, V., Uzlov, D. (2017). Generalized metrics in the problem of analysis of multidimensional data with different scales. Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho universytetu Povitrianykh Syl, 3 (52), 98–101.
4. Semenov, V. V., Lebedev, I. S. (2019). Processing of signal information in problems of monitoring information security of unmanned autonomous objects. Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics, 19 (3), 492–498. doi: <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2019-19-3-492-498>
5. Zhou, S., Yin, Z., Wu, Z., Chen, Y., Zhao, N., Yang, Z. (2019). A robust modulation classification method using convolutional neural networks. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2019 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s13634-019-0616-6>
6. Zhang, D., Ding, W., Zhang, B., Xie, C., Li, H., Liu, C., Han, J. (2018). Automatic Modulation Classification Based on Deep Learning for Unmanned Aerial Vehicles. Sensors, 18 (3), 924. doi: <https://doi.org/10.3390/s18030924>
7. Kalantaievska, S., Pievtsov, H., Kuvshynov, O., Shyshatskyi, A., Yarosh, S., Gatsenko, S. et. al. (2018). Method of integral estimation of channel state in the multiantenna radio communication systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (9 (95)), 60–76. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.144085>
8. Belousov, S. M. (2006). Matematicheskaya model' mnogopotornoj sistemy massovogo obsluzhivaniya, upravlyaemoy planirovshchikom resursov. Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Informatsionnye tehnologii, 4 (1), 14–26.
9. Kuchuk, N., Mohammed, A. S., Shyshatskyi, A., Nalapko, O. (2019). The method of improving the efficiency of routes selection in networks of connection with the possibility of self-organization. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, 8 (1), 1–6. Available at: <http://www.warse.org/IJATCSE/static/pdf/file/ijatcse01812sl2019.pdf>



10. Gerami Seresht, N., Fayek, A. R. (2020). Neuro-fuzzy system dynamics technique for modeling construction systems. *Applied Soft Computing*, 93, 106400. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106400>
11. Folorunso, O., Mustapha, O. A. (2015). A fuzzy expert system to Trust-Based Access Control in crowdsourcing environments. *Applied Computing and Informatics*, 11 (2), 116–129. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aci.2014.07.001>
12. Luy, M., Ates, V., Barisci, N., Polat, H., Cam, E. (2018). Short-Term Fuzzy Load Forecasting Model Using Genetic-Fuzzy and Ant Colony-Fuzzy Knowledge Base Optimization. *Applied Sciences*, 8 (6), 864. doi: <https://doi.org/10.3390/app8060864>
13. Salmi, K., Magrez, H., Ziyat, A. (2019). A Novel Expert Evaluation Methodology Based on Fuzzy Logic. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (ijET)*, 14 (11), 160. doi: <https://doi.org/10.3991/ijet.v14i11.10280>
14. Allaoua, B., Laoufi, A., Gasbaoui, B., Abderrahmani, A. (2009). Neuro-Fuzzy DC Motor Speed Control Using Particle Swarm Optimization. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 15, 1–18. Available at: [http://lejpt.academicdirect.org/A15/001\\_018.pdf](http://lejpt.academicdirect.org/A15/001_018.pdf)
15. Rybak, V. A., Shokr, A. (2016). Analysis and comparison of existing decision support technology. *System analysis and applied information science*, 3, 12–18.
16. Hassanzad, M., Orooji, A., Valinejadi, A., Velayati, A. (2017). A fuzzy rule-based expert system for diagnosing cystic fibrosis. *Electronic Physician*, 9 (12), 5974–5984. doi: <https://doi.org/10.19082/5974>
17. Shang, W., Gong, T., Chen, C., Hou, J., Zeng, P. (2019). Information Security Risk Assessment Method for Ship Control System Based on Fuzzy Sets and Attack Trees. *Security and Communication Networks*, 2019, 1–11. doi: <https://doi.org/10.1155/2019/3574675>
18. Safdari, R., Kadivar, M., Nazari, M., Mohammadi, M. (2017). Fuzzy Expert System to Diagnose Neonatal Peripherally Inserted Central Catheters Infection. *Health Information Management*, 13 (7), 446–452.
19. Al-Qudah, Y., Hassan, M., Hassan, N. (2019). Fuzzy Parameterized Complex Multi-Fuzzy Soft Expert Set Theory and Its Application in Decision-Making. *Symmetry*, 11 (3), 358. doi: <https://doi.org/10.3390/sym11030358>
20. Mikhailov, I. S., Zaw, M. (2015). Finding solutions by the modified Rete algorithm for fuzzy expert systems. *Software & Systems*, 4, 142–147. doi: <https://doi.org/10.15827/0236-235X.112.142-147>
21. Mazhara, O. O. (2014). Comparison of TREAT and RETE pattern matching algorithms. *Adaptyvni systemy avtomatichnoho upravlinnia*, 1 (24), 53–61.
22. Mazhara, O. A. (2015). Realizatsiya Treat algoritma na osnove sopotavleniya s obraztsom v programmnoy obolochke CLIPS. *Elektronnoe modelirovanie*, 37 (5), 61–75.
23. Koshlan, A., Salnikova, O., Chekhovska, M., Zhyvotovskiy, R., Prokopenko, Y., Hurskyi, T. et. al. (2019). Development of an algorithm for complex processing of geospatial data in the special-purpose geo-information 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>
24. Noh, B., Son, J., Park, H., Chang, S. (2017). In-Depth Analysis of Energy Efficiency Related Factors in Commercial Buildings Using Data Cube and Association Rule Mining. *Sustainability*, 9 (11), 2119. doi: <https://doi.org/10.3390/su9112119>
25. Petras, V., Petrasova, A., Jeziorska, J., Mitasova, H. (2016). Processing UAV and lidar point clouds in grass GIS. *ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B7, 945–952. doi: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xli-b7-945-2016>
26. Polovina, S., Radic, B., Ristic, R., Milcanovic, V. (2016). Spatial and temporal analysis of natural resources degradation in the Likodra River watershed. *Glasnik Sumarskog Fakulteta*, 114, 169–188. doi: <https://doi.org/10.2298/gsf1614169p>
27. Tymchuk, S. (2017). Methods of Complex Data Processing from Technical Means of Monitoring. *Path of Science*, 3 (3), 4.1–4.9. doi: <https://doi.org/10.22178/pos.20-4>
28. Semenov, V. V., Lebedev, I. S. (2019). Processing of signal information in problems of monitoring information security of unmanned autonomous objects. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 19 (3), 492–498. doi: <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2019-19-3-492-498>
29. 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>
30. 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>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.220094**

**DEVISING A METHOD OF FIGURATIVE TRANSFORMATIONS FOR MINIMIZING BOOLEAN FUNCTIONS IN THE IMPLICATIVE BASIS (p. 32–47)**

**Mykhailo Solomko**

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0168-5657>

**Iuliia Batyshkina**

Rivne State University of Humanities, Rivne, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5390-9029>

**Ihor Voitovych**

Rivne State University of Humanities, Rivne, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-2813-5225>

**Liudmyla Zubyk**

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-2087-5379>

**Stepaniia Babych**

Rivne State University of Humanities, Rivne, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-2145-6392>

**Kateryna Muzychuk**

Rivne State University of Humanities, Rivne, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-4360-1530>

This paper reports a study that has established the possibility of reducing computational complexity while improving the productivity of simplification of Boolean functions in the class of perfect implied normal forms (PINF-1 and PINF-2) using a method of figurative transformations.

The method of figurative transformations has been expanded to cover the process of simplifying the functions of the implicative basis by using the developed algebra of the implicative basis in the form of rules that simplify the PINF-1 and PINF-2 functions of the implicative basis. A special feature in simplifying the functions of the implicative basis on the binary structures of 2-( $n, b$ )-designs is the use of analogs of perfect disjunctive normal forms (PDNF) and perfect conjunctive normal forms (PCNF) of Boolean functions. The specified forms of the functions define transformation rules for the functions of the implicative basis on binary structures.

It is shown that the perfect implicative normal form of  $n$ -place function of the implicative basis can be represented by the binary sets or a matrix. Logical operations over the structure of the matrix ensure the result from simplifying the functions of the implicative basis. This makes it possible to focus the minimization principle

within the truth table of the assigned function and avoid auxiliary objects such as Carnot map, Weich charts, etc.

The method under consideration makes it possible:

– to reduce the algorithmic complexity of PINF-1 and PINF-2 simplification;

– to improve the performance of simplifying the functions of the implied basis by 100–200 %;

– to visualize the process of PINF-1 or PINF-2 minimization;

There is reason to argue that minimizing the functions of the implicative basis using a method of figurative transformations brings the task of PINF-1 and PINF-2 minimization to the level of well-researched problems within the class of disjunctive-conjunctive normal forms of Boolean functions.

**Keywords:** method of figurative transformations, minimization of functions of the implicative basis, implication function, PINF-1, PINF-2.

## References

- Bulkin, V. (2014). Modelling of the relation of implication with use of the directed relational networks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (72)), 30–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.30567>
- Dychka, I. A., Tarasenko, V. P., Onai, M. V. (2019). Osnovy prykladnoi teorii tsyfrovoykh avtomatov. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 508. Available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/323531874.pdf>
- Riznyk, V., Solomko, M., Tadeyev, P., Nazaruk, V., Zubyk, L., Voloshyn, V. (2020). The algorithm for minimizing Boolean functions using a method of the optimal combination of the sequence of figurative transformations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (4 (105)), 43–60. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206308>
- Kvatinsky, S., Satat, G., Wald, N., Friedman, E. G., Kolodny, A., Weiser, U. C. (2014). Memristor-Based Material Implication (IMPLY) Logic: Design Principles and Methodologies. *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, 22 (10), 2054–2066. doi: <https://doi.org/10.1109/tvlsi.2013.2282132>
- Shirinzadeh, S., Datta, K., Drechsler, R. (2018). Logic Design Using Memristors: An Emerging Technology. 2018 IEEE 48th International Symposium on Multiple-Valued Logic (ISMVL). doi: <https://doi.org/10.1109/ismvl.2018.00029>
- Teodorovic, P., Vukobratovic, B., Struharik, R., Dautovic, S., Nauka, F. tehnickih, Sad, N. (2012). Sequence generator for computing arbitrary  $n$ -input Boolean function using two memristors. 2012 20th Telecommunications Forum (TELFOR). doi: <https://doi.org/10.1109/telfor.2012.6419391>
- Rohani, S. G., TaheriNejad, N. (2017). An improved algorithm for IMPLY logic based memristive Full-adder. 2017 IEEE 30th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE). doi: <https://doi.org/10.1109/ccece.2017.7946813>
- Wang, X., Han, J., Yang, Y., Li, Y. (2019). An Improved Mapping and Optimization Method for Implication-based Memristive Circuits Using And-Inverter Graph. *Journal of Physics: Conference Series*, 1237, 032026. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1237/3/032026>
- Teimoory, M., Amirsoleimani, A., Shamsi, J., Ahmadi, A., Alirezadeh, S., Ahmadi, M. (2014). Optimized implementation of memristor-based full adder by material implication logic. 2014 21st IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS). doi: <https://doi.org/10.1109/icecs.2014.7050047>
- Borghetti, J., Snider, G. S., Kuekes, P. J., Yang, J. J., Stewart, D. R., Williams, R. S. (2010). «Memristive» switches enable «stateful» logic operations via material implication. *Nature*, 464 (7290), 873–876. doi: <https://doi.org/10.1038/nature08940>
- Lehtonen, E., Laiho, M. (2009). Stateful implication logic with memristors. 2009 IEEE/ACM International Symposium on Nanoscale Architectures. doi: <https://doi.org/10.1109/nanoarch.2009.5226356>
- Raghuvanshi, A., Perkowski, M. (2014). Logic synthesis and a generalized notation for memristor-realized material implication gates. 2014 IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design (ICCAD). doi: <https://doi.org/10.1109/iccad.2014.7001393>
- Lehtonen, E., Poikonen, J. H., Laiho, M. (2010). Two memristors suffice to compute all Boolean functions. *Electronics Letters*, 46 (3), 230. doi: <https://doi.org/10.1049/el.2010.3407>
- Chua, L. (1971). Memristor-The missing circuit element. *IEEE Transactions on Circuit Theory*, 18 (5), 507–519. doi: <https://doi.org/10.1109/tct.1971.1083337>
- Krivulya, G., Syrevich, E., Vlasov, I., Pavlov, O. (2013). Osobnosti primeneniya nanomemristornoj logiki dlya proektirovaniya tsifrovoyh sistem. *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, 1 (46), 280–286. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtu\\_2013\\_1\\_54](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtu_2013_1_54)
- Eliseev, N. (2010). Memristors and Crossbars: Nanotechnologies for Processors. *Electronics: Science, Technology, Business*, 8, 84–89. Available at: [https://www.electronics.ru/files/article\\_pdf/0/article\\_149\\_323.pdf](https://www.electronics.ru/files/article_pdf/0/article_149_323.pdf)
- Pospelov, D. A. (1974). *Logicheskie metody analiza i sinteza shem*. Moscow: Energiya, 368. Available at: <http://urss.ru/cgi-bin/db.pl?lang=Ru&blang=ru&page=Book&id=25326>
- Riznyk, V., Solomko, M. (2018). Minimization of conjunctive normal forms of boolean functions by combinatorial method. *Technology Audit and Production Reserves*, 5 (2 (43)), 42–55. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.146312>
- Riznyk, V., Solomko, M. (2017). Application of super-sticking algebraic operation of variables for Boolean functions minimization by combinatorial method. *Technology Audit and Production Reserves*, 6 (2 (38)), 60–76. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.118336>
- Nikishechkin, A. P. (2019). *Diskretnaya matematika i diskretnye sistemy upravleniya*. Moscow: Yurayt, 298. Available at: <https://urait.ru/book/diskretnaya-matematika-i-diskretnye-sistemy-upravleniya-442305>
- Primery resheniy: minimizatsiya DNF. Available at: [https://www.matburo.ru/ex\\_dm.php?p1=bfmin](https://www.matburo.ru/ex_dm.php?p1=bfmin)
- Riznyk, V., Solomko, M. (2018). Research of 5-bit boolean functions minimization protocols by combinatorial method. *Technology Audit and Production Reserves*, 4 (2 (42)), 41–52. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.140351>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.220035

## A METHOD OF AIR OBJECT RECOGNITION BASED ON THE NORMALIZED CONTOUR DESCRIPTORS AND A COMPLEX-VALUED NEURAL NETWORK (p. 48–57)

Valentyn Yesilevskyi

Kharkiv National University  
of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5935-1505>

Andriy Tevyashev

Kharkiv National University  
of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5261-9874>

Anton Koliadin

Kharkiv National University  
of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5552-5080>

This paper reports a study into the methods for recognizing the type of an air object on a digital image acquired from an air situation video monitoring system. A method has been proposed that is based on the application of a specific neural network, which solves

the problem of categorizing multidimensional complex vectors of objects' features based on complex calculations. In this case, a feature vector for recognizing the type of an air object is built on the basis of a Fourier transform for the sequence of coordinates of its two-dimensional contour. A technique has been proposed to train a neural network to recognize the type of an air object based on three image classes corresponding to three projections. This makes it easier to solve the classification problem owing to a more compact arrangement of the multidimensional feature vectors. The architecture of an air situation video monitoring system has been suggested, which includes an image preprocessing module and a module of a complex-valued neural network. Pre-processing makes it possible to identify an object's contour and build a sequence of normalized descriptors, which are partially independent of the spatial position of the object and the contour processing technique. Existing methods of air object recognition require significant computational resources and do not take into consideration the specificity of recognizing objects with three degrees of freedom or do not account for the complex nature of the numerical representation of a contour. This study has shown that the reported results make it easier to train a neural network and reduce the hardware requirements in order to solve the task of air situation video monitoring. The proposed solution leads to increased mobility and extends the scope of application of such systems, including individual devices.

**Keywords:** air object recognition, contour analysis, Fourier descriptors, complex-valued neural network.

#### References

- Strotov, V. V., Babayan, P. V., Smirnov, S. A. (2017). Aerial object recognition algorithm based on contour descriptor. *ISPRS «International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-2/W4*, 91–95. doi: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-2-w4-91-2017>
- Costa, L. da F., Cesar, Jr., R. M. (2018). *Shape Classification and Analysis*. CRC Press, 685. doi: <https://doi.org/10.1201/9781315222325>
- Hirose, A. (Ed.) (2013). *Complex-Valued Neural Networks*. Wiley. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118590072>
- Sharma, N., Jain, V., Mishra, A. (2018). An Analysis Of Convolutional Neural Networks For Image Classification. *Procedia Computer Science*, 132, 377–384. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.05.198>
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., Hinton, G. E. (2017). ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Communications of the ACM*, 60 (6), 84–90. doi: <https://doi.org/10.1145/3065386>
- Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D. et al. (2015). Going deeper with convolutions. 2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). doi: <https://doi.org/10.1109/cvpr.2015.7298594>
- Mash, R., Becherer, N., Woolley, B., Pecarina, J. (2016). Toward aircraft recognition with convolutional neural networks. 2016 IEEE National Aerospace and Electronics Conference (NAECON) and Ohio Innovation Summit (OIS). doi: <https://doi.org/10.1109/naecon.2016.7856803>
- Yesilevskiy, V., Teviashev, A., Koliadin, A. Transfer learning in aircraft classification. Available at: [https://openarchive.nure.ua/bitstream/document/11942/1/3\\_IST.pdf](https://openarchive.nure.ua/bitstream/document/11942/1/3_IST.pdf)
- Bradski, G., Kaehler, A. (2008). *Learning OpenCV*. Computer Vision with the OpenCV Library. O'Reilly Media, 555.
- Chaki, J., Dey, N. (2019). *A Beginner's Guide to Image Shape Feature Extraction Techniques*. CRC Press, 152. doi: <https://doi.org/10.1201/9780429287794>
- Yang, M., Kpalma, K., Ronsin, J. (2012). Shape-Based Invariant Feature Extraction for Object Recognition. *Intelligent Systems Reference Library*, 255–314. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-24693-7\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-642-24693-7_9)
- Rong, H.-J., Jia, Y.-X., Zhao, G.-S. (2014). Aircraft recognition using modular extreme learning machine. *Neurocomputing*, 128, 166–174. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2012.12.064>
- Makarov, M. A., Berestneva, O. G., Andreev, S. Yu. (2014). Solving the problem of moving objects contour classification and recognition on video frame. *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta*, 325 (5), 77–83.
- Nguen, T. T. (2010). Algoritmicheskoe i programmnoe obespechenie dlya raspoznavaniya figur s pomoshch'yu Fur'e-deskriptorov i neyronnoy seti. *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta*, 317 (5), 122–125.
- Aizenberg, N. N., Ivaskiv, Yu. L., Pospelov, D. A. (1971). A certain generalization of threshold functions. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 196 (6), 1287–1290. Available at: [http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=dan&paperid=35992&option\\_lang=eng](http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=dan&paperid=35992&option_lang=eng)
- Guberman, N. (2016). On Complex Valued Convolutional Neural Networks. arXiv.org. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1602.09046.pdf>
- Nitta, T. (2011). Ability of the 1-n-1 Complex-Valued Neural Network to Learn Transformations. *Computational Modeling and Simulation of Intellect*, 566–596. doi: <https://doi.org/10.4018/978-1-60960-551-3.ch022>
- Mönning, N., Manandhar, S. (2018). Evaluation of Complex-Valued Neural Networks on Real-Valued Classification Tasks. arXiv.org. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1811.12351.pdf>
- Aizenberg, I. (2011). *Complex-Valued Neural Networks with Multi-Valued Neurons*. Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-20353-4>
- Fajul Amin, M., Murase, K. (2009). Single-layered complex-valued neural network for real-valued classification problems. *Neurocomputing*, 72 (4-6), 945–955. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2008.04.006>
- Aizenberg, I., Moraga, C. (2006). Multilayer Feedforward Neural Network Based on Multi-valued Neurons (MLMVN) and a Back-propagation Learning Algorithm. *Soft Computing*, 11 (2), 169–183. doi: <https://doi.org/10.1007/s00500-006-0075-5>
- Granlund, G. H. (1972). Fourier Preprocessing for Hand Print Character Recognition. *IEEE Transactions on Computers*, C-21 (2), 195–201. doi: <https://doi.org/10.1109/tc.1972.5008926>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.219525**  
**CLASSIFICATION MODELS OF FLOOD-RELATED**  
**EVENTS BASED ON ALGORITHM TREES (p. 58–68)**

**Igor Povkhan**

Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1681-3466>

This paper reports the construction of an effective mechanism for synthesizing classification trees according to the fixed initial information in the form of a training sample for the task of recognizing the current state, as well as flood phenomena, of river basins. The built algorithmic classification tree could unmistakably categorize the entire training sample underlying the constructed classification scheme. Moreover, it would demonstrate minimal structural complexity by including components such as the algorithms for autonomous classification and recognition to serve the structure's vertices. The devised method for building the models of algorithms' trees makes it possible to operate training samples composed of a large amount of diverse information of discrete type. It ensures high model accuracy, the rational utilization of the system's hardware resources in the process that generates the final classification scheme, thereby making it possible to build models with predetermined accuracy. The proposed approach to synthesizing the new recognition algorithms is based on a library of already known algorithms and methods. Based

on the proposed concept of algorithmic classification trees, a set of models was built that ensured effective categorization and prediction of flood-related events across the Tisza river basin. The proposed indicators of data generalization and quality of the classification tree model make it possible to effectively represent the general characteristics of the model allowing their application to select the optimal algorithm tree from a set of random classification tree methods. The classification trees built have ensured the absence of errors on the data of the training and test sample and have confirmed the efficiency of the approach of algorithm trees.

**Keywords:** classification model, discrete object, algorithmic classification tree, generalized feature.

## Reference

- Srikant, R., Agrawal, R. (1997). Mining generalized association rules. *Future Generation Computer Systems*, 13 (2-3), 161–180. doi: [https://doi.org/10.1016/s0167-739x\(97\)00019-8](https://doi.org/10.1016/s0167-739x(97)00019-8)
- Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J. (2009). *The Elements of Statistical Learning*. Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-84858-7>
- Quinlan, J. R. (1986). Induction of decision trees. *Machine Learning*, 1 (1), 81–106. doi: <https://doi.org/10.1007/bf00116251>
- Utgoff, P. E. (1989). Incremental Induction of Decision Trees. *Machine Learning*, 4, 161–186.
- Vasilenko, Y. A., Vasilenko, E. Y., Kuhayivsky, A. I., Papp, I. O. (1999). Construction and optimization of recognizing systems. *Information technologies and systems: scientific and technical journal*, 1, 122–125.
- Kotsiantis, S. B. (2007). Supervised Machine Learning: A Review of Classification Techniques. *Informatica*, 31, 249–268.
- Mingers, J. (1989). An empirical comparison of pruning methods for decision tree induction. *Machine Learning*, 4 (2), 227–243. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1022604100933>
- Alpaydin, E. (2010). *Introduction to Machine Learning*. London: The MIT Press, 584.
- Povhan, I. F. (2020). Logical recognition tree construction on the basis of a step-to-step elementary attribute selection. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2, 95–105. doi: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-2-10>
- Povkhan, I. F. (2020). The general concept of the methods of algorithmic classification trees. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 3, 108–120. doi: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-3-10>
- Povkhan, I., Lupei, M. (2020). The Algorithmic Classification Trees. 2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP). doi: <https://doi.org/10.1109/dsmp47368.2020.9204198>
- Povkhan, I., Lupei, M., Kliap, M., Laver, V. (2020). The Issue of Efficient Generation of Generalized Features in Algorithmic Classification Tree Methods. *Data Stream Mining & Processing*, 98–113. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-61656-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-61656-4_6)
- Povhan, I. (2016). Designing of recognition system of discrete objects. 2016 IEEE First International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP). Lviv, 226–231.
- Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A., Stone, C. J. (2017). *Classification and regression trees*. Boca Raton, 368. doi: <https://doi.org/10.1201/9781315139470>
- Miyakawa, M. (1989). Criteria for selecting a variable in the construction of efficient decision trees. *IEEE Transactions on Computers*, 38 (1), 130–141. doi: <https://doi.org/10.1109/12.8736>
- Povkhan, I. (2020). A constrained method of constructing the logic classification trees on the basis of elementary attribute selection. *Proceedings of The Third International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2020)*. Zaporizhzhia, 843–857.
- Mitchell, T. (1997). *Machine Learning*. McGraw-Hill, 432.
- Amit, Y., Geman, D., Wilder, K. (1997). Joint induction of shape features and tree classifiers. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 19 (11), 1300–1305. doi: <https://doi.org/10.1109/34.632990>
- Dietterich, T. G., Kong, E. B. (1995). Machine learning bias, statistical bias, and statistical variance of decision tree algorithms. Available at: <http://www.cems.uwe.ac.uk/~irjohnso/coursenotes/uqc832/tr-bias.pdf>
- Karimi, K., Hamilton, H. J. (2011). Generation and Interpretation of Temporal Decision Rules. *International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications*, 3, 314–323.
- Deng, H., Runger, G., Tuv, E. (2011). Bias of Importance Measures for Multi-valued Attributes and Solutions. *Artificial Neural Networks and Machine Learning – ICANN 2011*, 293–300. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-21738-8\\_38](https://doi.org/10.1007/978-3-642-21738-8_38)
- Koskimaki, H., Juutilainen, I., Laurinen, P., Roning, J. (2008). Two-level clustering approach to training data instance selection: A case study for the steel industry. 2008 IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IEEE World Congress on Computational Intelligence). doi: <https://doi.org/10.1109/ijcnn.2008.4634228>
- Subbotin, S. A. (2019). Construction of decision trees for the case of low-information features. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 1, 121–130.
- Kamiński, B., Jakubczyk, M., Szufel, P. (2017). A framework for sensitivity analysis of decision trees. *Central European Journal of Operations Research*, 26 (1), 135–159. doi: <https://doi.org/10.1007/s10100-017-0479-6>
- Dietterich, T. G. (2000). An experimental comparison of three methods for constructing ensembles of decision trees: bagging, boosting, and randomization. *Machine learning*, 40, 139–157. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1007607513941>
- Subbotin, S. A. (2013). Methods of sampling based on exhaustive and evolutionary search. *Automatic Control and Computer Sciences*, 47 (3), 113–121. doi: <https://doi.org/10.3103/s0146411613030073>
- De Mántaras, R. L. (1991). A distance-based attribute selection measure for decision tree induction. *Machine Learning*, 6 (1), 81–92. doi: <https://doi.org/10.1007/bf00153761>
- Painsky, A., Rosset, S. (2017). Cross-Validated Variable Selection in Tree-Based Methods Improves Predictive Performance. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 39 (11), 2142–2153. doi: <https://doi.org/10.1109/tpami.2016.2636831>
- Saha, S. (2018). What is the C4.5 algorithm and how does it work? Available at: <https://towardsdatascience.com/what-is-the-c4-5-algorithm-and-how-does-it-work-2b971a9e7db0>
- C5.0 Classification Models. Available at: <https://cran.r-project.org/web/packages/C50/vignettes/C5.0.html>
- C5.0 Decision Trees and Rule-Based Models. Available at: <https://topepo.github.io/C5.0/reference/C5.0.html>
- C5.0: An Informal Tutorial. Available at: <https://www.rulequest.com/see5-unix.html>
- Vasilenko, Y. A., Vashuk, F. G., Povkhan, I. F. (2010). The importance of discrete signs. *XX International Conference Promising ways and directions of improving the educational system*. Uzhgorod, 217–222.
- Subbotin, S. A., Oliinyk, A. A. (2016). The Dimensionality Reduction Methods Based on Computational Intelligence in Problems of Object Classification and Diagnosis. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 11–19. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-48923-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-48923-0_2)
- Subbotin, S. (2019). A random forest model building using a priori information for diagnosis. *Proceedings of the Second International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2019)*, 2353, 962–973.



## АНОТАЦІЇ

## MATHEMATICS AND CYBERNETICS – APPLIED ASPECTS

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.218517

**КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОКРАТНИХ ВИМІРЮВАНЬ ЛОГАРИФМІЧНОЇ ФУНКЦІЇ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПО ДВОМ ПІДХОДАМ (с. 6–13)**

В. Ю. Щербань, Г. О. Корогод, О. З. Колиско, М. І. Колиско, Ю. Ю. Щербань, Г. В. Щуцька

Проведеними дослідженнями можливостей методів надлишкових вимірювань встановлено високу ефективність представлених методів щодо підвищення точності багатократних вимірювань. Доведено, що рівняння надлишкових вимірювань забезпечує незалежність результату вимірювань від параметрів функції перетворення і їх відхилень від номінальних значень. Експериментальними дослідженнями підтверджено, що точність багатократних вимірювань підвищується за рахунок обробки результатів проміжних вимірювань за рівняннями надлишкових вимірювань по двом підходам. Зокрема встановлено, що обробка результатів багатократних вимірювань при логарифмічній функції перетворення за першим підходом забезпечує значення відносної похибки, що буде складати  $0,75 \cdot 10^{-3} \%$ , а за другим –  $0,02 \cdot 10^{-3} \%$ . Це дозволяє стверджувати, що підвищення точності відбувається завдяки сумарному ефекту – забезпечується виключення систематичної складової похибки, обумовленої зміною параметрів функції перетворення, а також зменшення випадкової складової похибки. Останнє, зокрема, стосується алгоритмів обробки багатократних вимірювань по двом підходам. Проведено порівняльний аналіз та встановлені переваги і недоліки кожного з представлених двох підходів. Було встановлено, що другий підхід менш чутливий до збільшення різниці між значеннями контрольованої величиною і нормованої за значенням. Це дозволяє стверджувати про можливість вимірювання контрольованого параметру ( $F_x$ ) великого значення без накладення високих вимог до потужностей джерела каліброваного випромінювання.

Є підстави стверджувати про перспективний розвиток методів надлишкових вимірювань при обробці результатів багатократних вимірювань в сфері підвищення точності при нелінійній функції перетворення.

**Ключові слова:** надлишкові методи, багатократні вимірювання, рівняння вимірювань, параметри функції, підвищення точності.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217630

**РОЗРОБКА МЕТОДИК РОЗШИРЕННЯ ПОНЯТІЙНОГО І АНАЛІТИЧНОГО АПАРАТУ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН (с. 14–21)**

Л. Г. Раскін, О. В. Сіра

Теорія нечітких множин є ефективною альтернативою теорії ймовірностей при розв'язанні багатьох задач дослідження процесів і систем в умовах невизначеності. Застосування цієї теорії особливо затребуване в тих ситуаціях, коли досліджувана система функціонує в умовах, де параметри, які впливають, або характеристики зовнішнього середовища швидко змінюються. У цих випадках використання рішень, одержуваних стандартними методами теорії ймовірностей, не є цілком коректним. Однак понятійна, методологічна та апаратна база цієї теорії розвинена недостатньо. У роботі зроблена спроба заповнення наявних прогалів в теорії нечітких множин з деяких важливих напрямках.

Для безперервних нечітких величин введено поняття щільності розподілу цих величин. З використанням цього поняття запропоновано методику розрахунку основних числових характеристик нечітких величин, а також технологію розрахунку функцій належності для нечітких значень функцій від нечітких величин і їх моментів. Введення цих формалізмів істотно розширює можливості теорії нечітких множин для розв'язанні безлічі реальних задач обчислювальної математики. З використанням цих формалізмів може бути вирішено велику кількість практичних задач: нечіткі регресія і кластеризація, нечіткий багатовимірний дискримінантний аналіз, диференціювання та інтегрування функцій нечітких аргументів, діагностика стану в ситуації, коли вихідні дані задані нечітко, методи вирішення задач безумовної та умовної оптимізації і т. д. Отримано доказ центральної граничної теореми для суми великого числа нечітких величин. Цей доказ засновано на введених в роботі та описаних на формальному рівні характеристичних функціях нечітких величин. Введено поняття незалежності і залежності для нечітких величин. Запропоновано методику розрахунку коефіцієнта кореляції для нечітких чисел. Розглянуто приклади розв'язання задач.

**Ключові слова:** щільність розподілу нечітких величин, моменти, характеристичні функції, гранична теорема, коефіцієнт кореляції.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216662

**РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОГО МЕТОДУ ПОШУКУ РІШЕННЯ ДЛЯ НЕЙРО-НЕЧІТКИХ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ (с. 22–31)**

О. Я. Сова, А. В. Шишацький, Д. А. Маліцький, О. В. Жук, О. В. Гаман, В. В. Гордійчук, В. А. Федорієнко, А. В. Кокойко, В. В. Шевчук, М. В. Сова

Штучний інтелект став основою систем сучасних систем підтримки прийняття рішень. Саме тому в даній роботі розроблено комплексний метод пошуку рішень для нейро-нечітких експертних систем. В основі запропонованого комплексного методу покладено математичну модель аналізу оперативної обстановки. Модель дозволяє визначити параметри аналізу оперативної обстановки, їх вплив на якість оцінювання оперативної обстановки та визначити їх кількість з одиницями виміру. Підвищення оперативності обробки інформації (зменшення похибки) оцінювання досягається за рахунок використання нейро-нечітких штучних нейронних мереж, що еволюціонують. Навчання нейро-нечітких штучних нейронних мереж, що еволюціонують, відбувається навчанням не тільки



синаптичних ваг штучної нейронної мережі, виду, параметрів функції належності, а також застосування процедури зменшення розмірності простору ознак. Оперативність обробки інформації також досягається за рахунок навчання архітектури штучних нейронних мереж; врахування типу невизначеності інформації, що підлягає оцінюванню; роботи як з чіткими так і нечіткими продукціями. При цьому досягається зменшення обчислюваної складності при прийнятті рішень; відсутності накопичення помилки навчання штучних нейронних мереж в результаті обробки інформації, що надходить на вхід штучних нейронних мереж. Аналіз оперативної обстановки в цілому відбувається за рахунок удосконаленої процедури кластеризації, що дозволяє працювати як з статичними так і динамічними даними. Проведено апробацію запропонованого комплексного методу на прикладі оцінки стану оперативної обстановки. Зазначений приклад показав підвищення оперативності оцінювання на рівні 20–25 % по оперативності обробки інформації.

**Ключові слова:** штучний інтелект, оперативна обстановка, інтелектуальні системи, системи підтримки прийняття рішень.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.220094**

### **РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ ОБРАЗНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ БУЛЕВИХ ФУНКЦІЙ В ІМПЛІКАТИВНОМУ БАЗИСІ (с. 32–47)**

**М. Т. Соломко, Ю. В. Батишкіна, І. С. Войтович, Л. В. Зубик, С. М. Бабич, К. П. Музичук**

Проведеними дослідженнями встановлена можливість зменшення обчислювальної складності, збільшення продуктивності спрощення булевих функцій у класі досконалих імплікативних нормальних форм (ДІНФ-1 та ДІНФ-2) методом образних перетворень.

Поширення методу образних перетворень на процес спрощення функцій імплікативного базису здійснено за допомогою розробленої алгебри імплікативного базису у вигляді правил спрощення ДІНФ-1 та ДІНФ-2 функцій імплікативного базису. Особливістю спрощення функцій імплікативного базису на бінарних структурах  $2-(n, b)$ -блок-схем (англ.  $2-(n, b)$ -designs) є використання аналогів досконалих диз'юнктивних нормальних форм (ДДНФ) та досконалих кон'юнктивних нормальних форм (ДКНФ) булевих функцій. Зазначені форми функцій визначають правила перетворення на бінарних структурах функцій імплікативного базису.

Показано, що досконалим імплікативну нормальну форму  $n$ -місткої функції імплікативного базису можна подати бінарними наборами або матрицею. Логічні операції над структурою матриці забезпечують результат спрощення функцій імплікативного базису. Це дозволяє зосередити принцип мінімізації у межах таблиці істинності заданої функції та обійтись без допоміжних об'єктів, як то карта Карно, діаграми Вейча та ін.

Розглянутий метод дозволяє:

- зменшити алгоритмічну складність спрощення ДІНФ-1 та ДІНФ-2;
- збільшити продуктивність спрощення функцій імплікативного базису на 100–200 %;
- демонструвати наочність процесу мінімізації ДІНФ-1 або ДІНФ-2;

Є підстави стверджувати, що мінімізація функцій імплікативного базису методом образних перетворень виводить проблему мінімізації ДІНФ-1 та ДІНФ-2 на рівень добре досліджених задач у класі диз'юнктивно-кон'юнктивних нормальних форм булевих функцій.

**Ключові слова:** метод образних перетворень, мінімізація функцій імплікативного базису, функція імплікації, ДІНФ-1, ДІНФ-2.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.220035**

### **МЕТОД РОЗПІЗНАВАННЯ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ НОРМАЛІЗОВАНИХ ДЕСКРИПТОРІВ КОНТУРУ ТА КОМПЛЕКСНОЗНАЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ (с. 48–57)**

**В. С. Єсілевський, А. Д. Тевяшев, А. В. Колядін**

Досліджено методи розпізнавання типу повітряного об'єкту за його виглядом на цифровому зображенні у системі відеоспостереження повітряної обстановки. Запропоновано метод, що заснований на застосуванні специфічної нейронної мережі, яка вирішує задачу класифікації багатовимірних комплексних векторів ознак об'єктів на основі комплексних обчислень. При цьому вектор ознак для розпізнавання типу повітряного об'єкту будується на основі перетворення Фур'є для послідовності координат його двовимірного контуру. Запропоновано спосіб навчання нейронної мережі розпізнаванню типу повітряного об'єкту за трьома класами зображень, що відповідають трьом проекціям. Це дозволяє спростити вирішення задачі класифікації завдяки більш компактному розташуванню багатовимірних векторів ознак. Запропонована архітектура системи відеоспостереження за повітряною обстановкою, яка включає модуль для попередньої обробки зображення і модуль комплекснозначної нейронної мережі. Попередня обробка дозволяє виявити контур об'єкта та побудувати послідовність нормалізованих дескрипторів, що частково не залежать від просторового положення об'єкта та способу обробки контуру. Існуючі методи розпізнавання повітряних об'єктів потребують багато обчислювальних ресурсів та не враховують специфіку розпізнавання об'єктів з трьома ступенями свободи або не враховують комплексний характер числового представлення контуру. Дослідження показало, що отримані результати дозволяють спростити процес навчання нейронної мережі та зменшити вимоги до апаратного забезпечення для вирішення задачі відеоспостереження повітряної обстановки. Запропоноване рішення призводить до підвищення мобільності та розширення сфери застосування таких систем розпізнавання аж до індивідуальних пристроїв.

**Ключові слова:** розпізнавання повітряних об'єктів, контурний аналіз, дескриптори Фур'є, комплекснозначна нейронна мережа.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.219525**

### **МОДЕЛІ КЛАСИФІКАЦІЇ ПАВОДКОВИХ ЯВИЩ НА ОСНОВІ ДЕРЕВ АЛГОРИТМІВ (с. 58–68)**

**І. Ф. Повхан**

Побудований ефективний механізму синтезу дерев класифікації за фіксованою початковою інформацією у вигляді навчальної вибірки для задачі розпізнавання ситуаційного стану, паводкових явищ басейнів рік. Побудоване алгоритмічне дерево класифікації

буде безпомилково класифікувати всю навчальну вибірку, за якою побудована схема класифікації. Причому мати мінімальну структурну складність та складатися з компонентів – автономних алгоритмів класифікації та розпізнавання в якості вершин конструкції. Розроблений метод побудови моделей дерев алгоритмів дозволяє працювати з навчальними вибірками великого об'єму різномірної інформації дискретного типу. Забезпечує високу точність моделі, раціонально використовує апаратні ресурси системи в процесі генерації кінцевої схеми класифікації, дозволяє будувати моделі з наперед заданою точністю. Пропонується підхід синтезу нових алгоритмів розпізнавання на основі бібліотеки вже відомих алгоритмів та методів. На базі запропонованої концепції алгоритмічних дерев класифікації побудований набір моделей, які забезпечили ефективну класифікацію та прогнозування паводкових ситуацій для басейну річку Тиса. Запропоновані показники узагальнення даних та якості моделі дерева класифікації дозволяють ефективно представити загальні характеристики моделі, можливе їх використання для відбору оптимального дерева алгоритмів з набору побудованих на основі методів випадкових дерев класифікації. Побудовані дерева класифікації забезпечили відсутність помилок на даних навчальної та тестової вибірки, підтвердили працездатність підходу дерев алгоритмів.

**Ключові слова:** модель класифікації, дискретний об'єкт, алгоритмічне дерево класифікації, узагальнена ознака.