

## ABSTRACT AND REFERENCES

## MATHEMATICS AND CYBERNETICS – APPLIED ASPECTS

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229657**  
**DEVISING A METHOD FOR FINDING A FAMILY OF MEMBERSHIP FUNCTIONS TO BIFUZZY QUANTITIES (p. 6–14)**

**Lev Raskin**

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

**Oksana Sira**

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

**Larysa Sukhomlyn**

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

**Roman Korsun**

National Technical University  
 «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1950-4263>

This paper has considered a task to expand the scope of application of fuzzy mathematics methods, which is important from a theoretical and practical point of view. A case was examined where the parameters of fuzzy numbers' membership functions are also fuzzy numbers with their membership functions. The resulting bifuzziness does not make it possible to implement the standard procedure of building a membership function. At the same time, there are difficulties in performing arithmetic and other operations on fuzzy numbers of the second order, which practically excludes the possibility of solving many practical problems. A computational procedure for calculating the membership functions of such bifuzzy numbers has been proposed, based on the universal principle of generalization and rules for operating on fuzzy numbers. A particular case was tackled where the original fuzzy number's membership function contains a single fuzzy parameter. It is this particular case that more often occurs in practice. It has been shown that the correct description of the original fuzzy number, in this case, involves a family of membership functions, rather than one. The simplicity of the proposed and reported analytical method for calculating a family of membership functions of a bifuzzy quantity significantly expands the range of adequate analytical description of the behavior of systems under the conditions of multi-level uncertainty. A procedure of constructing the membership functions of bifuzzy numbers with the finite and infinite carrier has been considered. The method is illustrated by solving the examples of using the developed method for fuzzy numbers with the finite and infinite carrier. It is clear from these examples that the complexity of analytic description of membership functions with hierarchical uncertainty is growing rapidly with the increasing number of parameters for the original fuzzy number's membership function, which are also set in a fuzzy fashion. Possible approaches to overcoming emerging difficulties have been described.

**Keywords:** fuzzy mathematics, membership function of type 2 fuzzy numbers, construction rules.

### References

- 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)
- Dyubua, D., Prad, A. (1990). *Teoriya vozmozhnostey. Pri-lozheniya k predstavleniyu znaniy v informatike*. Moscow: Radio i svyaz', 286.
- Venttsel', E. S. (1969). *Teoriya veroyatnostey*. Moscow: Vys-shaya shkola, 576.
- Gnedenko, B. V. (1969). *Kurs teorii veroyatnostey*. Moscow: Nauka, 400.
- Kolmogorov, A. N. (1974). *Osnovnye ponyatiya teorii ve-royatnostey*. Moscow: Nauka, 119.
- Kremer, N. Sh. (2004). *Teoriya veroyatnostey i matemati-cheskaya statistika*. Moscow: YUNITI-DANA, 573.
- Chernova, N. I. (2007). *Teoriya veroyatnostey*. Novosibirsk: Novosibirskiy gosudarstvenniy universitet, 260.
- Kofman, A. (1982). *Vvedenie v teoriyu nechetkih mnozhestv*. Moscow: Radio i svyaz', 486.
- Leonenkov, A. V. (2003). *Nechetkoe modelirovanie v srede Matlab fuzzy Tech*. Sankt-Peterburg: BHV – Peterburg, 736.
- Lyu, B. (2005). *Teoriya i praktika neopredelenogo pro-grammirovaniya*. Moscow: BINOM, 416.
- Liu, F., Mendel, J. M. (2008). Encoding Words Into Interval Type-2 Fuzzy Sets Using an Interval Approach. *IEEE Trans-actions on Fuzzy Systems*, 16 (6), 1503–1521. doi: <https://doi.org/10.1109/tfuzz.2008.2005002>
- Raskin, L. G., Seraya, O. V. (2008). *Nechetskaya matematika*. Kharkiv: Parus, 352.
- Kadigrob, S. V., Seraya, O. V. (2009). *Mnogofaktornye bis-luchaynye modeli bezotkaznosti sistem. Visnyk natsionalno-ho tekhnichnoho universytetu «Kharkivskiy politekhnichnyi instytut»*, 10, 34–40. Available at: [http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/37582/1/vestnik\\_KhPI\\_2009\\_10\\_Kadigrob\\_Mnogofaktornye\\_bisluchaynye.pdf](http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/37582/1/vestnik_KhPI_2009_10_Kadigrob_Mnogofaktornye_bisluchaynye.pdf)
- Castillo, O., Melin, P. (2008). *Type-2 Fuzzy Logic: Theory and Applications*. Springer-Verlag, 244. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-76284-3>
- Hu, B. Q., Wang, C. Y. (2014). On type-2 fuzzy relations and interval-valued type-2 fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 236, 1–32. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fss.2013.07.011>
- Mendel, J. M. (2007). Type-2 fuzzy sets and systems: an overview. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 2 (1), 20–29. doi: <https://doi.org/10.1109/mci.2007.380672>
- Celik, E., Gul, M., Aydin, N., Gumus, A. T., Guneri, A. F. (2015). A comprehensive review of multi criteria decision making approaches based on interval type-2 fuzzy sets. *Know-ledge-Based Systems*, 85, 329–341. doi: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2015.06.004>
- Du, Z., Yan, Z., Zhao, Z. (2019). Interval type-2 fuzzy tracking control for nonlinear systems via sampled-data controller. *Fuzzy Sets and Systems*, 356, 92–112. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fss.2018.02.013>
- Zhang, Z., Niu, Y. (2018). Adaptive sliding mode control for interval type-2 stochastic fuzzy systems subject to actuator failures. *International Journal of Systems Science*, 49 (15), 3169–3181. doi: <https://doi.org/10.1080/00207721.2018.1534027>

20. Seraya, O. V. (2010). *Mnogomernye modeli logistiki v usloviyah neopredelennosti*. Kharkiv: FOP Stetsenko, 512.
21. Malolepshaya, N. E. (2013). Nechetkaya regressionnaya model' dlya chastnogo sluchaya interval'nyh nechetkikh chisel vtorogo tipa. *Lesnoy vestnik*, 3, 190–192. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/nechetkaya-regressionnaya-model-dlya-chastnogo-sluchaya-intervalnyh-nechetkikh-chisel-vtorogo-tipa>
22. 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: 10.15587/1729-4061.2021.229791

**DETERMINING THE EFFECT OF FUZZINESS IN THE PARAMETERS OF A LINEAR DYNAMIC SYSTEM ON ITS STABILITY (p. 15–21)**

**Mykhailo Horbiiuchuk**

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8586-1883>

**Nataliia Lazoriv**

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3595-910X>

**Lidiia Feshanych**

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5156-2199>

This paper considers a relevant issue related to the influence exerted by the fuzziness in linear dynamic system parameters on its stability. It is known that the properties of automated control systems can change under the influence of parametric disturbances. To describe the change in such properties of the system, the concept of roughness is used.

It should be noted that taking into consideration the fuzziness in the parameters of mathematical models could make it possible at the design stage to assess all the risks that may arise as a result of an uncontrolled change in the parameters of dynamic systems during their operation. To prevent negative consequences due to variance in the parameters of mathematical models, automated control systems are designed on the basis of the requirement for ensuring a certain margin of stability of the system in terms of its amplitude and phase. At the same time, it remains an open question whether such a system would satisfy the conditions of roughness.

Parameters of the mathematical model of a system are considered as fuzzy quantities that have a triangular membership function. This function is inconvenient for practical use, so it is approximated by the Gaussian function. That has made it possible to obtain formulas for calculating the characteristic polynomial and the transfer function of the open system, taking into consideration the fuzziness of their parameters.

When investigating the system according to Mikhailov's criterion, it was established that the dynamic system retains stability in the case when the parameters of the characteristic equation are considered as fuzzy quantities. It has been determined that the quality of the system significantly deteriorated in terms of its stability that could make it enter a non-steady state. When using the Nyquist criterion, it was es-

tablished that taking into consideration the fuzziness in the parameters of the transfer function did not affect the stability of the closed system but there was a noticeable decrease in the system stability reserve both in terms of phase and amplitude. The relative decrease in the margin of stability for amplitude was 16 %, and for phase – 17.4 %.

**Keywords:** mathematical model, stability, fuzziness, membership function, transfer function, dynamic system.

**References**

1. Kovryho, Yu. M., Stepanets, O. V., Bahan, T. H., Bunke, O. S. (2018). Suchasna teoriya upravlinnia. Chastyna 2. Prykladni aspekty suchasnoi teorii upravlinnia. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 155. Available at: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/23117/1/Suchasna-teoriia-upravlinnia\\_Kovryho\\_et.al.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/23117/1/Suchasna-teoriia-upravlinnia_Kovryho_et.al.pdf)
2. Khrabatyn, R. I., Samaniv, L. V., Krykhyvskiy, M. V. (2011). Systematyzuvannia matematychnykh modelei system upravlinnia u vyhliadi peredavalnykh funktsiy. *Naftohazova enerhetyka*, 1 (14), 99–101. Available at: <http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/2867>
3. Maksymov, V. H., Nitsevych, O. D., Droma, I. A. (2013). Osnovy metodiv diahnostuvannia elektronnykh system keruvannia avtomobilem. *Pratsi Odeskoho politekhnichnoho universytetu*, 3 (42), 60–65. Available at: <http://dspace.opu.ua/jspui/handle/123456789/5179>
4. Strutinsky, S., Gurgiy, A. (2011). Application of theory of fuzzy sets is for description of clearance of connections in occasions and transmissions. *Materialy mizhnarodnoi nauko-vo-tekhnichnoi konferentsiyi «Problemy suchasnykh tekhnolohiy vyhotovlennia ta nadiynosti peredach z hnuchkym zviazkom»*. Ternopil, 88–89. Available at: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/12252>
5. Wong, L. K., Leung, F. H. F., Tam, P. K. S. (2000). Improved stability analysis method for fuzzy logic control systems. *Electronics Letters*, 36 (12), 1085. doi: <https://doi.org/10.1049/el:20000787>
6. Albers, D. J., Sprott, J. C. (2005). Structural Stability and Hyperbolicity Violation in High-Dimensional Dynamical Systems, 38. Available at: <http://tuvalu.santafe.edu/~albers/research/papers/hyp.pdf>
7. Garashenko, F. G., Soproniyk, O. L. (2016). Analysis of the practical stability and sensitivity of linear dynamical systems with change of phase space measurability. *System research and information technologies*, 3, 86–100. doi: <https://doi.org/10.20535/srit.2308-8893.2016.3.08>
8. Yukhymchuk, M. S., Osipenko, A. A. (2015). Method of stability analysis of automatic systems with logic control devices when exposed to parametric perturbations on the basis of the sensitivity functions. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, 2, 92–100. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vvpi\\_2015\\_2\\_15](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vvpi_2015_2_15)
9. Astrom, K. I., Hagglund, T. (2006). *Advanced PID Control*. The Instrumentation, Systems And Automation Society, 460.
10. Raskin, L. G., Seraya, O. V. (2008). *Nechetkaya matematika. Osnovy teorii. Prilozheniya*. Kharkiv: Parus, 352. Available at: [http://library.kpi.kharkov.ua/files/new\\_postupleniya/raskin.pdf](http://library.kpi.kharkov.ua/files/new_postupleniya/raskin.pdf)
11. Verzhbitskiy, V. M. (2002). *Osnovy chislennykh metodov*. Moscow: Vysshaya shkola, 840.
12. Horbiiuchuk, M. I., Pistun, Ye. P. (2010). *Chyslovi metody i modeliuvannia na EOM*. Ivano-Frankivsk: Fakel, 403.
13. Gorbiiuchuk, M. I., Skripka, O. A., Pashkovskiy, B. V. (2016). Optimum distribution of gas compressor units in uncertainty

for a given volume on pumping natural gas. East European Scientific Journal, 2 (3 (7)), 53–58.

14. Gorbilychuk, M. I., Lazoriv, O. T., Zaiachuk, Y. I. (2020). Depth-Optimal Distribution of Drilling Meterage Under Uncertainty. Cybernetics and Systems Analysis, 56 (2), 269–277. doi: <https://doi.org/10.1007/s10559-020-00242-9>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229786**  
**DEVELOPING THE MINIMIZATION OF A**  
**POLYNOMIAL NORMAL FORM OF BOOLEAN**  
**FUNCTIONS BY THE METHOD OF FIGURATIVE**  
**TRANSFORMATIONS (p. 22–37)**

**Mykhailo Solomko**

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

**Iuliia Batyshkina**

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

**Natalia Khomiuk**

Lesya Ukrainka Volyn National University, Lutsk, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3277-8840>

**Yakiv Ivashchuk**

National University of Water  
and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4899-9303>

**Natalia Shevtsova**

Rivne State University of Humanities, Rivne, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3401-5468>

This paper reports a study that has established the possibility of improving the effectiveness of the method of figurative transformations in order to minimize Boolean functions on the Reed-Muller basis. Such potential prospects in the analytical method have been identified as a sequence in the procedure of inserting the same conjuncts of polynomial functions followed by the operation of super-gluing the variables.

The extension of the method of figurative transformations to the process of simplifying the functions of the polynomial basis involved the developed algebra in terms of the rules for simplifying functions in the Reed-Muller basis. It was established that the simplification of Boolean functions of the polynomial basis by a figurative transformation method is based on a flowchart with repetition, which is actually the truth table of the predefined function. This is a sufficient resource to minimize functions that makes it possible not to refer to such auxiliary objects as Karnaugh maps, Weich charts, cubes, etc.

A perfect normal form of the polynomial basis functions can be represented by binary sets or a matrix that would represent the terms of the functions and the addition operation by module two for them.

The experimental study has confirmed that the method of figurative transformations that employs the systems of  $2-(n, b)$ -design, and  $2-(n, x/b)$ -design in the first matrix improves the efficiency of minimizing Boolean functions. That also simplifies the procedure for finding a minimum function on the Reed-Muller basis. Compared to analogs, this makes it possible to enhance the performance of minimizing Boolean functions by 100–200 %.

There is reason to assert the possibility of improving the efficiency of minimizing Boolean functions in the Reed-Muller basis by a method of figurative transformations. This is ensured by using more complex algorithms to simplify logical expressions involving a procedure of inserting the same function terms in the Reed-Muller basis, followed by the operation of super-gluing the variables.

**Keywords:** minimization of Boolean functions in the Reed-Muller basis, figurative transformation method, singular function.

## References

- Rytsar, B. Ye. (2013). A Numeric Set-Theoretical Interpretation of Polynomial Zhegalkin. *Upravlinnia systemamy i mashynamy*, 1, 11–26. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/83125>
- Sasao, T. (1999). Switching Theory for Logic Synthesis. Springer US, 362. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5139-3>
- Sasao, T. (1996). Representations of Logic Functions Using EXOR Operators. *Representations of Discrete Functions*, 29–54. doi: [https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1385-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1385-4_2)
- Sasao, T. (1997). Easily testable realizations for generalized Reed-Muller expressions. *IEEE Transactions on Computers*, 46 (6), 709–716. doi: <https://doi.org/10.1109/12.600830>
- Zakrevskiy, A. D., Toporov, N. R. (2003). *Polynomial'naya realizatsiya chastichnyh bulevykh funktsiy i sistem*. Moscow: Editorial URSS, 200. Available at: <https://www.libex.ru/detail/book14536.html>
- Zakrevskiy, A. D., Pottosin, Yu. V., Cheremisinova, L. D. (2007). *Logicheskie osnovy proektirovaniya diskretnykh ustroystv*. Moscow: Fizmatlit, 592. Available at: <https://www.libex.ru/detail/book852648.html>
- Fujiwara, H. (1985). *Logic testing and design for testability*. Cambridge. doi: <https://doi.org/10.7551/mitpress/4317.001.0001>
- Faraj, K. (2011). Design Error Detection and Correction System based on Reed-Muller Matrix for Memory Protection. *International Journal of Computer Applications*, 34 (8), 42–48. Available at: <https://research.ijcaonline.org/volume34/number8/pxc3875929.pdf>
- Solomko, M. (2021). Developing an algorithm to minimize boolean functions for the visual-matrix form of the analytical method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (4 (109)), 6–21. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225325>
- Rytsar, B. (2015). The Minimization Method of Boolean Functions in Polynomial Set-theoretical Format. Conference: Proc. 24th Inter. Workshop, CS@P'2015. Rzeszow, 130–146. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/298158364\\_The\\_Minimization\\_Method\\_of\\_Boolean\\_Functions\\_in\\_Polynomial\\_Set-theoretical\\_Format](https://www.researchgate.net/publication/298158364_The_Minimization_Method_of_Boolean_Functions_in_Polynomial_Set-theoretical_Format)
- Sampson, M., Kalathas, M., Voudouris, D., Papakonstantinou, G. (2012). Exact ESOP expressions for incompletely specified functions. *Integration*, 45 (2), 197–204. doi: <https://doi.org/10.1016/j.vlsi.2011.10.001>
- Knysch, D., Dubrova, E. (2011). Rule-based optimization of AND-XOR expressions. *Facta Universitatis – Series: Electronics and Energetics*, 24 (3), 437–449. doi: <https://doi.org/10.2298/fuee1103437k>
- Bibilo, P. N., Lankevich, Y. Y. (2017). The Use of Zhegalkin Polynomials for Minimization of Multilevel Representations of Boolean Functions Based on Shannon Expansion. *Programnaya Ingeneria*, 8 (8), 369–384. doi: <https://doi.org/10.17587/prin.8.369-384>

14. Egorova, E. K., Cheburakhin, I. F. (2013). On the minimization of complexity and automation of efficient representation of boolean functions in classes of formulas and circuits. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 52 (4), 618–627. doi: <https://doi.org/10.1134/s1064230713030064>
15. Frantseva, A. S. (2018). An Algorithm for Minimization of Boolean Functions in the Class of Toffoli Reversible Logic Circuits. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Mathematics*, 25, 144–158. doi: <https://doi.org/10.26516/1997-7670.2018.25.144>
16. He, Z., Xiao, L., Huo, Z., Wang, T., Wang, X. (2019). Fast Minimization of Fixed Polarity Reed-Muller Expressions. *IEEE Access*, 7, 24843–24851. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2899035>
17. Samofalov, K. G., Romlinkevich, A. M., Valuyskiy, V. N., Kanevskiy, Yu. S., Pinevich, M. M. (1987). *Prikladnaya teoriya tsifrovyyh avtomatov*. Kyiv: Vischa shk. Golovnoe izd-vo, 375. Available at: [http://stu.scask.ru/book\\_pta.php?id=62](http://stu.scask.ru/book_pta.php?id=62)
18. Rytsar, B. Ye. (2015). New minimization method of logical functions in polynomial set-theoretical format. 1. Generalized rules of conjuncterms simplification. *Upravlyayuschie sistemy i mashiny*, 2, 39–57. Available at: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/87194>
19. 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>
20. Akinina, Ju. S., Podvalniy, S. L., Tyurin, S. V. (2016). The application of karnaugh maps for the polinomial transformation of boolean functions. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*, 12 (1), 4–7. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-kart-karno-dlya-polinomialnogo-preobrazovaniya-bulevyh-funktsiy>
21. Rytsar, B. Ye. (2013). A Numeric Set-Theoretical Interpretation of Reed-Muller Expressions with Fixed and Mixed Polarity. *Upravlyayuschie sistemy i mashiny*, 3, 30–44. Available at: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/83164>
22. Tran, A. (1987). Graphical method for the conversion of minterms to Reed-Muller coefficients and the minimisation of exclusive-OR switching functions. *IEE Proceedings E Computers and Digital Techniques*, 134 (2), 93. doi: <https://doi.org/10.1049/ip-e.1987.0016>
23. Rytsar, B. Ye. (2015). A New Method of Minimization of Logical Functions in the Polynomial Set-theoretical Format. 2. Minimization of Complete and Incomplete Functions. *Upravlyayuschie sistemy i mashiny*, 4, 9–20. Available at: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/87235>
24. 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>
25. 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>
26. Solomko, M., Khomiuk, N., Ivashchuk, Y., Nazaruk, V., Reinska, V., Zubyk, L., Popova, A. (2020). Implementation of the method of image transformations for minimizing the Sheffer functions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (4 (107)), 19–34. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214899>
27. Mishchenko, A., Perkowski, M. (2001). Fast Heuristic Minimization of Exclusive-Sums-of-Products. *Proc. Reed-Muller Inter. Workshop'01*, 242–250. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/2367778\\_Fast\\_Heuristic\\_Minimization\\_of\\_Exclusive-Sums-of-Products](https://www.researchgate.net/publication/2367778_Fast_Heuristic_Minimization_of_Exclusive-Sums-of-Products)

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229160**

**DEVELOPMENT OF ESTIMATION AND FORECASTING METHOD IN INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEMS (p. 38–47)**

**Igor Romanenko**

Central Scientifically-Research Institute of Arming and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5339-7900>

**Andrii Golovanov**

National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6251-570X>

**Vitalii Khoma**

National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9900-855X>

**Andrii Shyshatskyi**

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

**Yevhen Demchenko**

Central Scientifically-Research Institute of Arming and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8743-923X>

**Lyubov Shabanova-Kushnarenko**

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2080-7173>

**Tetiana Ivakhnenko**

Central Scientifically-Research Institute of Arming and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2583-2068>

**Oleksandr Prokopenko**

National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5482-0317>

**Oleh Havaliukh**

Naval Institute of the National University «Odessa Maritime Academy», Odessa, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8307-4002>

**Dmitro Stupak**

Zhytomyr Military Institute named after S. P. Koroliov, Zhytomyr, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7638-3982>

The method of estimation and forecasting in intelligent decision support systems is developed. The essence of the

proposed method is the ability to analyze the current state of the object under analysis and the possibility of short-term forecasting of the object state. The possibility of objective and complete analysis is achieved through the use of improved fuzzy temporal models of the object state, an improved procedure for forecasting the object state and an improved procedure for training evolving artificial neural networks. The concepts of a fuzzy cognitive model, in contrast to the known fuzzy cognitive models, are connected by subsets of fuzzy influence degrees, arranged in chronological order, taking into account the time lags of the corresponding components of the multidimensional time series. This method is based on fuzzy temporal models and evolving artificial neural networks. The peculiarity of this method is the ability to take into account the type of a priori uncertainty about the state of the analyzed object (full awareness of the object state, partial awareness of the object state and complete uncertainty about the object state). The ability to clarify information about the state of the monitored object is achieved through the use of an advanced training procedure. It consists in training the synaptic weights of the artificial neural network, the type and parameters of the membership function, as well as the architecture of individual elements and the architecture of the artificial neural network as a whole. The object state forecasting procedure allows conducting multidimensional analysis, consideration and indirect influence of all components of a multidimensional time series with different time shifts relative to each other under uncertainty.

**Keywords:** decision support systems, artificial neural networks, state forecasting, training.

## References

- Bashkyrov, O. M., Kostyna, O. M., Shyshatskyi, A. V. (2015). Rozvytok intehrovanykh system zviazku ta pere-dachi danykh dlia potreb Zbroinykh Syl. Ozbroiennia ta viyskova tekhnika, 1, 35–39.
- 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>
- 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, 98–101.
- Pievtsov, H., Turinskyi, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskiy, 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>
- 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>
- Shyshatskyi, A. (2020). Complex Methods of Processing Different Data in Intellectual Systems for Decision Support System. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, 9 (4), 5583–5590. doi: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/206942020>
- Trotsenko, R. V., Bolotov, M. V. (2014). Data extraction process for heterogeneous sources. Privolzhskiy nauchnyy vestnik, 12-1 (40), 52–54.
- Rotshteyn, A. P. (1999). Intellektual'nye tehnologii identifikatsii: nechetkie mnozhestva, neyronnye seti, geneticheskie algoritmy. Vinnitsa: «UNIVERSUM», 295.
- 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>
- Zagranovskaya, A. V., Eissner, Y. N. (2017). Simulation scenarios of the economic situation based on fuzzy cognitive maps. Modern Economics: Problems and Solutions, 10 (94), 33–47. doi: <https://doi.org/10.17308/meps.2017.10/1754>
- Simankov, V. S., Putyato, M. M. (2013). Issledovanie metodov kognitivnogo analiza. Perspektivy razvitiya informatsionnykh tehnologiy, 13, 31–35.
- Onykyi, 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>
- 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>
- 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>
- Ballester-Caudet, A., Campíns-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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- Harding, J. L. (2013). Data quality in the integration and analysis of data from multiple sources: some research challenges.

- ISPRS – 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>
23. Rybak, V. A., Ahmad, S. (2016). Analysis and comparison of existing decision support technology. *Sistemnyi analiz i prikladnaya informatika*, 3, 12–18.
  24. Rodionov, M. A. (2014). Problems of information and analytical support of contemporary strategic management. *Civil Aviation High Technologies*, 202, 65–69. Available at: <https://avia.mstuca.ru/jour/article/view/153/79>
  25. Bednář, Z. (2018). Information Support of Human Resources Management in Sector of Defense. *Vojenské rozhledy*, 27 (1), 45–68.
  26. Palchuk, V. (2017). Methods of Content-Monitoring and Content-Analysis of Information Flows: Modern Features. *Academic Papers of the Vernadsky National Library of Ukraine*, 48, 506–526. doi: <https://doi.org/10.15407/np.48.506>
  27. Mir, S. A., Padma, T. (2016). Evaluation and prioritization of rice production practices and constraints under temperate climatic conditions using Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP). *Spanish Journal of Agricultural Research*, 14 (4), e0909. doi: <https://doi.org/10.5424/sjar/2016144-8699>
  28. Kljushin, V. V. (2014). Theoretical and methodological basis for the formation and evaluation of the level of the economic system's strategic economic potential. *Modern Management Technology*, 12 (48). Available at: <https://sovman.ru/article/4805/>
  29. Bogomolova, I. P., Omel'chenko, O. M. (2014). Analysis of influence factors of economic efficiency on the economy of the integrated structures. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 3, 157–162.
  30. Sherafat, A., Yavari, K., Davoodi, S. M. R. (2014). Evaluation of the Strategy Management Implementation in Project-Oriented Service Organizations. *Acta Universitatis Danubius*, 10 (1), 16–25. Available at: <http://journals.univ-danubius.ro/index.php/oeconomica/article/view/2020/2053>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229756

**IMPROVED ALGORITHM FOR MATCHED-PAIRS SELECTION OF INFORMATIVE FEATURES IN THE PROBLEMS OF RECOGNITION OF COMPLEX SYSTEM STATES (p. 48–54)**

**Volodymyr Osypenko**

Kyiv National University  
of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1077-1461>

**Borys Zlotenko**

Kyiv National University  
of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0870-8535>

**Tetiana Kulik**

Kyiv National University  
of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1006-7853>

**Svitlana Demishonkova**

Kyiv National University  
of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5678-8114>

**Oleh Synyuk**

Khmelnyskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9615-0729>

**Volodymyr Onofriichuk**

Khmelnyskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2914-4986>

**Svitlana Smutko**

Khmelnyskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7344-3799>

The problem of computer diagnostics of complex systems is one of the non-trivial tasks of modern information technology. Such systems are, for example, computer networks, automatic and/or automated control systems for complex technological objects, including related to complex problems of environmental protection, biology, etc. In pattern recognition, one of the major problems is forming subspaces of informative features, which only in the «ensemble» allow diagnosing the states of such systems with a high degree of reliability.

An effective approach to solving this problem based on the principles of inductive modeling of complex systems is proposed. The quality criterion for recognizing classes of patterns is formulated, which also makes it possible to evaluate the quality of the constructed ensemble of informative features.

As an example, the problem of constructing an ensemble of informative features represented by a binary code based on the data of an experiment to determine the hazard levels of some plant protection products is considered. Real primary data on plant protection products used in practice were applied to recognize the effect of certain characteristics on the so-called integrated «hazard indicator».

Comparative numerical estimates of the effectiveness of the proposed approach are given. In this case, there can be a fivefold gain in the amount of computations for a relatively small number of input features equal to 5 compared to the known algorithms of the class considered in the paper. It is shown that, from a practical point of view, the described algorithm has advantages over the known algorithms with brute-force search of feature subspaces in pattern recognition problems.

**Keywords:** computer systems, computer diagnostics, pattern recognition, complex system, informative features.

#### References

1. Yang, J., Honavar, V. (1998). Feature Subset Selection Using a Genetic Algorithm. *Feature Extraction, Construction and Selection*, 117–136. doi: [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5725-8\\_8](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5725-8_8)
2. Carpenter, G. A., Grossberg, S. (1987). ART 2: self-organization of stable category recognition codes for analog input patterns. *Applied Optics*, 26 (23), 4919. doi: <https://doi.org/10.1364/ao.26.004919>
3. Initskiy, A., Burba, O. (2019). Statistical criteria for assessing the informativity of the sources of radio emission of telecommunication networks and systems in their recognition. *Cybersecurity: Education, Science, Technique*, 1 (5), 83–94. doi: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2019.5.8394>
4. Zayats, V. M., Shokyra, G. Ya. (2012). Correction priority early signs in constructing recognition systems. *Naukovy visnyk NLTU Ukrainy*, 22.7, 344–350.
5. Jensen, R., Shen, Q. (2004). Semantics-preserving dimensionality reduction: rough and fuzzy-rough-based approaches. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 16 (12), 1457–1471. doi: <https://doi.org/10.1109/tkde.2004.96>
6. Jain, A. K., Duin, P. W., Mao, J. (2000). Statistical pattern recognition: a review. *IEEE Transactions on Pattern Analysis*

- and Machine Intelligence, 22 (1), 4–37. doi: <https://doi.org/10.1109/34.824819>
7. Lavrakas, P. (2008). Encyclopedia of survey research methods. Sage Publications. doi: <https://doi.org/10.4135/9781412963947>
  8. Dopico, J. R. R., Dorado, J., Pazos, A. (Eds.) (2009). Encyclopedia of artificial intelligence. IGI Global. doi: <https://doi.org/10.4018/978-1-59904-849-9>
  9. Everitt, B. S., Landau, S., Leese, M., Stahl, D. (2011). Cluster Analysis. John Wiley & Sons, Ltd. doi: <https://doi.org/10.1002/9780470977811>
  10. Ivakhnenko, A. H., Koppa, Yu. V. (1974). Vybir ansambliu oznak i syntez bahatoriadnogo pertseptrona za oznakamy samoorhanizatsiyi. Avtomatyka, 2, 41–53.
  11. Ivahnenko, A. G., Koppa, Yu. V., Timchenko, I. K., Ivahnenko, N. A. (1980). Svyaz' teorii samoorganizatsii matematicheskikh modeley na EVM i teorii raspoznavaniya obrazov. Avtomatika, 6, 3–13.
  12. Ivahnenko, A. G. (1981). Induktivnyy metod samoorganizatsii modeley slozhnykh sistem. Kyiv: Naukova dumka, 296.
  13. Gabor, D. (1971). Cybernetics and the Future of our Industrial Civilization. J. of Cybernetics, 1, 1–4.
  14. Gabor, D. (1972). Perspektivy planirovaniya. Avtomatika, 2, 16–22.
  15. Ivahnenko, A. G. (1989). Metod posledovatel'nogo oprobovaniya (perebora) klasterizatsiy-kandidatov po kriteriyam differentsial'nogo tipa. Raspoznavanie, klassifikatsiya, prognoz. Matematicheskie metody i ih primeneniye, 2, 126–158.
  16. Madala, H. R., Ivakhnenko, A. G. (1994). Inductive learning algorithms for complex systems modeling. CRC Press, 380. doi: <https://doi.org/10.1201/9781351073493>
  17. Wójcik, W., Osypenko, V., Lytvynenko, V. (2013). The use of inductive clustering algorithms for forming expert groups in large-scale innovation projects. Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania, 54 (8), 45–48. Available at: <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-e864befd-7a77-411b-9ed7-44cb3446b06e>
  18. Babichev, S., Lytvynenko, V., Osypenko, V. (2017). Implementation of the objective clustering inductive technology based on DBSCAN clustering algorithm. 2017 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). doi: <https://doi.org/10.1109/stc-csit.2017.8098832>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225311

#### DEVELOPMENT OF A METHOD TO LINEARIZE THE QUADRATIC ASSIGNMENT PROBLEM (p. 54–61)

Elias Munapo

North West University, Mafikeng, South Africa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6279-3729>

The paper presents a new powerful technique to linearize the quadratic assignment problem. There are so many techniques available in the literature that are used to linearize the quadratic assignment problem. In all these linear formulations, both the number of variables and the linear constraints significantly increase. The quadratic assignment problem (QAP) is a well-known problem whereby a set of facilities are allocated to a set of locations in such a way that the cost is a function of the distance and flow between the facilities. In this problem, the costs are associated with a facility being placed at a certain location. The objective is to minimize the assignment of each facility to a location. There are three main categories

of methods for solving the quadratic assignment problem. These categories are heuristics, bounding techniques and exact algorithms. Heuristics quickly give near-optimal solutions to the quadratic assignment problem. The five main types of heuristics are construction methods, limited enumeration methods, improvement methods, simulated annealing techniques and genetic algorithms. For every formulated QAP, a lower bound can be calculated. We have Gilmore-Lawler bounds, eigenvalue related bounds and bounds based on reformulations as bounding techniques. There are four main classes of methods for solving the quadratic assignment problem exactly, which are dynamic programming, cutting plane techniques, branch and bound procedures and hybrids of the last two. The QAP has application in computer backboard wiring, hospital layout, dartboard design, typewriter keyboard design, production process, scheduling, etc. The technique proposed in this paper has the strength that the number of linear constraints increases by only one after the linearization process.

**Keywords:** quadratic assignment problem, Koopmans and Beckmann formulation, linear binary form.

#### References

1. Munapo, E. (2012). Reducing the number of new constraints and variables in a linearised quadratic assignment problem. AFRICAN JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH, 7 (21). doi: <https://doi.org/10.5897/ajarx11.073>
2. Koopmans, T. C., Beckmann, M. (1957). Assignment Problems and the Location of Economic Activities. Econometrica, 25 (1), 53. doi: <https://doi.org/10.2307/1907742>
3. Drezner, Z. (2008). Extensive experiments with hybrid genetic algorithms for the solution of the quadratic assignment problem. Computers & Operations Research, 35 (3), 717–736. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2006.05.004>
4. Yang, X., Lu, Q., Li, C., Liao, X. (2008). Biological computation of the solution to the quadratic assignment problem. Applied Mathematics and Computation, 200 (1), 369–377. doi: <https://doi.org/10.1016/j.amc.2007.11.016>
5. Adams, W., Johnson, T. (1994). Improved linear programming-based lower bounds for the quadratic assignment problem. DIMACS Series in Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science, 43–75. doi: <https://doi.org/10.1090/dimacs/016/02>
6. Ramakrishnan, K. G., Resende, M. G. C., Ramachandran, B., Pekny, J. F. (2002). Tight QAP bounds via linear programming. Series on Applied Mathematics, 297–303. doi: [https://doi.org/10.1142/9789812778215\\_0019](https://doi.org/10.1142/9789812778215_0019)
7. Cela, E. (1998). The quadratic assignment problem: theory and algorithms. In Combinatorial Optimization. Springer, 287. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2787-6>
8. Nagarajan, V., Sviridenko, M. (2009). On the Maximum Quadratic Assignment Problem. Mathematics of Operations Research, 34 (4), 859–868. doi: <https://doi.org/10.1287/moor.1090.0418>
9. Abdel-Basset, M., Manogaran, G., Rashad, H., Zaied, A. N. H. (2018). A comprehensive review of quadratic assignment problem: variants, hybrids and applications. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. doi: <https://doi.org/10.1007/s12652-018-0917-x>
10. Billionnet, A., Elloumi, S. (2001). Best reduction of the quadratic semi-assignment problem. Discrete Applied Mathematics, 109 (3), 197–213. doi: [https://doi.org/10.1016/s0166-218x\(00\)00257-2](https://doi.org/10.1016/s0166-218x(00)00257-2)
11. Casares, P. A. M., Martin-Delgado, M. A. (2020). A quantum interior-point predictor-corrector algorithm for linear pro-

- gramming. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, 53 (44), 445305. doi: <https://doi.org/10.1088/1751-8121/abb439>
12. Al-Rabeeah, M., Munapo, E., Al-Hasani, A., Kumar, S., Eberhard, A. (2019). Computational Enhancement in the Application of the Branch and Bound Method for Linear Integer Programs and Related Models. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, 4 (5), 1140–1153. doi: <https://doi.org/10.33889/ijmems.2019.4.5-090>
  13. Djeumou Fomeni, F., Kaparis, K., Letchford, A. N. (2020). A cut-and-branch algorithm for the Quadratic Knapsack Problem. *Discrete Optimization*, 100579. doi: <https://doi.org/10.1016/j.disopt.2020.100579>
  14. Taha, H. A. (2017). *Operations Research: An Introduction*. Pearson Education.
  15. Arbib, C., Pınar, M. Ç., Rossi, E., Tessitore, A. (2020). Codon optimization by 0-1 linear programming. *Computers & Operations Research*, 119, 104932. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.104932>
  16. Munapo, E. (2016). Second Proof That  $P=NP$ . *EngOpt 2016. Program of the Conference*.
  17. Munapo, E. (2021). The Traveling Salesman Problem. *Research Advancements in Smart Technology, Optimization, and Renewable Energy*, 88–109. doi: <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-3970-5.ch006>
  18. Han, B., Li, Y., Geng, S. (2017). 0–1 Linear programming methods for optimal normal and pseudo parameter reductions of soft sets. *Applied Soft Computing*, 54, 467–484. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.08.052>
  19. Kodama, A., Nishi, T. (2017). Petri net representation and reachability analysis of 0–1 integer linear programming problems. *Information Sciences*, 400-401, 157–172. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2017.03.014>
  20. Demiröz, B. E., Altınel, İ. K., Akarun, L. (2019). Rectangle blanket problem: Binary integer linear programming formulation and solution algorithms. *European Journal of Operational Research*, 277 (1), 62–83. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.02.004>
  21. Bakhshi-Jafarabadi, R., Sadeh, J., Soheili, A. (2019). Global optimum economic designing of grid-connected photovoltaic systems with multiple inverters using binary linear programming. *Solar Energy*, 183, 842–850. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.03.019>



## АНОТАЦІЇ

## MATHEMATICS AND CYBERNETICS – APPLIED ASPECTS

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229657

**РОЗРОБКА МЕТОДА ВІДШУКАННЯ СІМЕЙСТВА ФУНКЦІЙ ПРИНАЛЕЖНОСТІ БІНЕЧІТКИХ ВЕЛИЧИН (с. 6–14)**

Л. Г. Раскін, О. В. Сіра, Л. В. Сухомлин, Р. О. Корсун

Розглянута важлива з теоретичної і практичної точки зору проблема розширення сфери застосування методів нечіткої математики. Досліджується ситуація, коли параметри функцій приналежності нечітких чисел також є нечіткими числами зі своїми функціями приналежності. Виникаюча при цьому бінечеткість не дозволяє реалізувати стандартну процедуру побудови функцій приналежності. При цьому виникають труднощі виконання арифметичних та інших операцій над нечіткими числами другого порядку, що практично виключає можливість вирішення безлічі практичних завдань. Запропонована обчислювальна процедура розрахунку функцій приналежності таких бінечетких чисел, яка базується на універсальному принципі узагальнення та на правилах виконання операцій над нечіткими числами. Детально розглянутий окремий випадок, коли функція приналежності початкового нечіткого числа містить єдиний нечіткий параметр. Саме цей окремий випадок частіше інших виникає на практиці. Показано, що коректному опису початкового нечіткого числа в цьому випадку відповідає не одна функція приналежності, а їх сімейство. Простота запропонованого в роботі і наданого аналітичного методу розрахунку сімейства функцій приналежності бінечеткої величини істотно розширює діапазон адекватного аналітичного опису поведінки систем в умовах багаторівневої невизначеності. Розглянута функція приналежності бінечетких чисел з кінцевим і безкінечним носієм. Метод ілюструється рішенням прикладів використання розробленого методу для нечітких чисел з кінцевим і безкінечним носієм. З цих прикладів ясно, що складність аналітичного опису функцій приналежності з ієрархічної невизначеністю швидко зростає зі збільшенням числа параметрів функції належності початкового нечіткого числа, які також задаються нечітко. Описані можливі підходи подолання виникаючих труднощів.

**Ключові слова:** нечітка математика, функція приналежності нечітких чисел другого типу, правила побудови.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229791

**ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ НЕЧІТКОСТІ ПАРАМЕТРІВ ЛІНІЙНОЇ ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ НА ЇЇ СТІЙКІСТЬ (с. 15–21)**

М. І. Горбійчук, Н. Т. Лазорів, Л. І. Фешанич

Розглядається актуальне питання впливу нечіткості параметрів лінійної динамічної системи на її стійкість. Відомо, що властивості систем автоматичного керування можуть змінюватися під дією параметричних збурень. Для опису зміни таких властивостей системи застосовують поняття грубості.

Слід відмітити, що врахування нечіткості параметрів математичних моделей дасть змогу на стадії проектування оцінити всі ризики, які можуть виникнути у результаті неконтрольованої зміни параметрів динамічних систем у процесі їх експлуатації. Для запобігання негативних наслідків від варіації параметрів математичних моделей системи автоматичного керування проектують, виходячи з вимоги забезпечення певного запасу стійкості системи за амплітудою і фазою. При цьому залишається відкритим питання чи буде така система задовольняти умовам грубості.

Параметри математичної моделі системи розглядаються як нечіткі величини, які мають трикутну функцію належності. Така функція є незручною для практичного використання, тому апроксимується гаусовою функцією. Це дало змогу отримати формули для обчислення характеристичного полінома і передавальної функції розімкненої системи з врахування нечіткості їх параметрів.

При дослідженні системи за критерієм Михайлова, встановлено, що динамічна система зберігає стійкість у випадку, коли параметри характеристичного рівняння розглядаються як нечіткі величини. Визначено, що якість системи, з точки зору її стійкості, помітно погіршилась та може перейти у нестійкий стан. При використанні критерія Найквіста, встановлено, що врахування нечіткості параметрів передавальної функції не вплинуло на стійкість замкненої системи, але відбулося помітне зменшення запасу стійкості системи як за фазою, так і за амплітудою. Відносне зменшення запасу стійкості за амплітудою склало 16 %, а за фазою – 17,4 %.

**Ключові слова:** математична модель, стійкість, нечіткість, функція належності, передавальна функція, динамічна система.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229786

**РОЗРОБКА МІНІМІЗАЦІЇ ПОЛІНОМНОЇ НОРМАЛЬНОЇ ФОРМИ БУЛЕВИХ ФУНКЦІЙ МЕТОДОМ ОБРАЗНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ (с. 22–37)**

М. Т. Соломко, Ю. В. Батишкіна, Н. Л. Хомюк, Я. Г. Іващук, Н. В. Шевцова

Проведеними дослідженнями встановлена можливість збільшення ефективності методу образних перетворень для мінімізації булевих функцій у базисі Ріда-Маллера. Виявлено перспективні резерви аналітичного методу, як то послідовність з процедури вставки однакових кон'юнктерів поліномних функцій та наступною операцією супер-склеювання змінних.

Поширення методу образних перетворень на процес спрощення функцій поліномного базису здійснено за допомогою розробленої алгебри у частині правил спрощення функцій у базисі Ріда-Маллера. Встановлено, що спрощення булевих функцій поліномного базису методом образних перетворень ґрунтується на блок-схемі з повторенням, якою є власне таблиця істинності заданої функції. Це є достатнім ресурсом для мінімізації функцій та дозволяє обходитись без допоміжних об'єктів, як то карти Карно, діаграми Вейча, куби та ін.

Досконалу нормальну форму функцій поліномного базису можна подати бінарними наборами або матрицею, яка буде представляти терми функцій та операцію додавання за модулем два для них.

Експериментальними дослідженнями підтверджено, що метод образних перетворень, який використовує системи  $2-(n, b)$ -design та  $2-(n, x/b)$ -design у першій матриці, підвищує ефективність мінімізації булевих функцій. При цьому спрощується процедура пошуку мінімальної функції у базисі Ріда-Маллера. У порівнянні з аналогами це дає змогу підвищити продуктивність мінімізації булевих функцій на 100–200 %.

Є підстави стверджувати про можливість збільшення ефективності мінімізації булевих функцій у базисі Ріда-Маллера методом образних перетворен. Це забезпечується шляхом використання більш складних алгоритмів спрощення логічних виразів з процедурою вставки однакових термів функцій у базисі Ріда-Маллера з наступною операцією супер-склеювання змінних.

**Ключові слова:** мінімізація булевих функцій у базисі Ріда-Маллера, метод образних перетворень, сингулярна функція.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229160**

### **РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОЦІНКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ (с. 38–47)**

**І. О. Романенко, А. В. Голованов, В. В. Хома, А. В. Шишацький, Є. Я. Демченко, Л. В. Шабанова-Кушнарченко, Т. О. Івахненко, О. С. Прокопенко, О. С. Гавалох, Д. Є. Ступак**

Проведено розробку методики оцінки та прогнозування в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень. Сутність запропонованої методики полягає в можливості забезпечення аналізу поточного стану об'єкту, що аналізується та можливості короткострокового прогнозування стану об'єкту. Забезпечення можливості об'єктивного та повного аналізу досягається за рахунок використання удосконалених нечітких темпоральних моделей стану об'єкту, удосконаленої процедури прогнозування стану об'єкту та удосконаленої процедури навчання штучних нейронних мереж, що еволюціонують. Концепти нечіткої когнітивної моделі на відміну від відомих нечітких когнітивних моделей пов'язані підмножинами нечітких ступенів впливу, упорядкованих в хронологічній послідовності з урахуванням часових лагів відповідних компонентів багатовимірного часового ряду. В основу зазначеної методики покладені нечіткі темпоральні моделі та штучні нейронні мережі, що еволюціонують. Особливістю зазначеної методики є можливість врахування типу апіорної невизначеності про стан об'єкту аналізу (повної інформованості про стан об'єкту, часткової інформованості про стан об'єкту та повної невизначеності про стан об'єкту). Можливість уточнення інформації про стан об'єкту моніторингу досягається за рахунок використання удосконаленої процедури навчання. Сутність її 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. Процедура прогнозування про стан об'єкту дозволяє проводити багатовимірний аналіз, врахування і опосередкований вплив всіх компонентів багатовимірного часового ряду з їх різними часовими зсувами один відносно одного в умовах невизначеності.

**Ключові слова:** системи підтримки прийняття рішень, штучні нейронні мережі, прогнозування стану, навчання.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229756**

### **УДОСКОНАЛЕНИЙ АЛГОРИТМ ВИБОРУ ІНФОРМАТИВНИХ ОЗНАК З ЇХ ПОПАРНИМ УРАХУВАННЯМ В ЗАДАЧАХ РОЗПІЗНАВАННЯ СТАНІВ СКЛАДНИХ СИСТЕМ (с. 48–54)**

**В. В. Осипенко, Б. М. Злотенко, Т. І. Кулік, С. А. Демішонкова, О. М. Сінюк, В. І. Онофрійчук, С. В. Смутко**

Проблема комп'ютерного діагностування станів складних систем належить до нетривіальних завдань сучасних інформаційних технологій. До таких систем відносяться, наприклад, комп'ютерні мережі, автоматичні та/або автоматизовані системи управління складними технологічними об'єктами, у т.ч. пов'язаними із складними задачами екологічного характеру, біології, тощо. У процесі розпізнавання образів одну з провідних ролей відіграє проблема формування підпросторів інформативних ознак, які саме в «ансамблі» дозволяють виконувати з високим ступенем надійності діагностування станів таких систем.

Запропонований ефективний підхід до вирішення вказаної проблеми, що базується на застосуванні принципів індуктивного моделювання складних систем. Сформульований критерій якості розпізнавання класів, який дає можливість також оцінювати і якість сконструйованого ансамблю інформативних ознак.

В якості прикладу розглянуто задачу конструювання ансамблю інформативних ознак, представлених бінарним кодом на даних експерименту із визначення рівнів безпеки деяких засобів захисту рослин. Використані реальні первинні дані стосовно засобів захисту рослин, які застосовуються на практиці, для розпізнавання впливу тих чи інших характеристик на так званий інтегральний «показник безпеки».

Наведені порівняльні числові оцінки ефективності запропонованого підходу. При цьому вигреш за обсягом обчислень для відносно невеликої кількості вхідних ознак рівною 5 може бути п'ятиразовим в порівнянні з відомими алгоритмами розглянутого в роботі класу. Доведено, що ефективність роботи такого алгоритму буде зростати при збільшенні розмірності простору ознак.

**Ключові слова:** комп'ютерні системи, комп'ютерне діагностування, розпізнавання образів, складна система, інформативні ознаки.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225311**

### **РОЗРОБКА МЕТОДУ ЛІНЕАРИЗАЦІЇ КВАДРАТИЧНОЇ ЗАДАЧІ ПРО ПРИЗНАЧЕННЯ (с. 54–61)**

**Elias Munaro**

У статті представлено новий дієвий метод лінеаризації квадратичної задачі про призначення. У літературі існує величезна кількість методів, які використовуються для лінеаризації квадратичної задачі про призначення. У всіх цих лінійних формулюваннях

значно збільшується як кількість змінних, так і кількість лінійних обмежень. Квадратична задача про призначення (КЗП) є добре відомою задачею, в якій множина об'єктів призначається множині розташувань таким чином, що витрати є функцією відстані і потоку між об'єктами. У цій задачі витрати пов'язані з розміщенням об'єкта в певному місці. Мета полягає в тому, щоб звести до мінімуму призначення кожного об'єкта певному місцю. Існує три основні категорії методів вирішення квадратичної задачі про призначення. До цих категорій відносяться евристичні методи, обмежуючі методи і точні алгоритми. Евристичні швидко дають майже оптимальні рішення квадратичної задачі про призначення. П'ять основних типів евристичних методів включають методи побудови, методи обмеженого перерахування, методи поліпшення, методи імітації відпалу і генетичні алгоритми. Для кожної сформульованої КЗП може бути розрахована нижня межа. Існують межі Гілмора-Лоулера, межі власних значень і межі, засновані на переформулюваннях в якості методів обмеження. Існує чотири основні класи методів для точного вирішення квадратичної задачі про призначення, а саме динамічне програмування, методи січних площин, методи гілок і меж і гібриди останніх двох. КЗП знаходить застосування в проводці задньої панелі комп'ютера, плануванні лікарень, дизайні мішені для гри в дартс, дизайні клавіатури типу друкарської машинки, виробничих процесах, плануванні і т. д. Перевагою методу, запропонованого в даній статті, є те, що в результаті процесу лінеаризації кількість лінійних обмежень збільшується тільки на одиницю.

**Ключові слова:** квадратична задача про призначення, постановка Купманса-Бекмана, лінійна двійкова форма.