

## ABSTRACT AND REFERENCES

## MATHEMATICS AND CYBERNETICS – APPLIED ASPECTS

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.312968**  
**IMPLEMENTATION OF A NON-STANDARD SYSTEM FOR SIMPLIFYING PEIRCE-WEBB FUNCTIONS (p. 6–32)**

**Mykhailo Solomko**

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

**Petro Tadeyev**

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2885-6674>

**Mykola Antoniuk**

Rivne State University of Humanities, Rivne, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6888-6392>

**Yuliia Mala**

University of Customs and Finance, Dnipro, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2539-4793>

**Stepaniia Babych**

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

**Yakiv Ivashchuk**

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

The object of research are models of optimal logic circuits based on universal Peirce-Webb functions. The problem solved is the efficiency of the technique for simplifying the Peirce-Webb functions. The extension of the non-standard system to the simplification of Peirce-Webb functions makes it possible to discover new rules of equivalent transformations of Boolean functions, and to complete the simplification procedure in one step. A feature of the simplification of functions in the Peirce-Webb basis by a non-standard system is fixing the digital project at the level of abstraction, followed by the application of the mechanism of logical synthesis to generate the corresponding equivalent at the level of gates of the logic circuit. The result of the transformation of the terms of the binary matrix in the end is some combinatorial system, metadata that can explain other data, for example, determine the minimum function for another logical basis.

The interpretation of the result consists in the use of combinatorial properties of binary structures of functions in the Peirce-Webb basis and binary structures of functions in the basic basis. These properties do not depend on the selected logical basis, which makes it possible to carry out equivalent transformations on binary matrices of Peirce-Webb functions according to the rules of the algebra of the main basis.

It has been experimentally confirmed that a non-standard system enables:

- to reduce the algorithmic complexity of simplifying the Peirce-Webb functions;
- to increase the performance of the simplification of Peirce-Webb functions by 200–300 %;
- to demonstrate the visibility of the process of simplifying functions.

In terms of application, the non-standard system of simplifying the Peirce-Webb functions could ensure the transfer of innovations to material production: from conducting fundamental research, expanding the capabilities of digital component design technology to organizing serial or mass production of novelties.

**Keywords:** DNF simplification, Peirce-Webb function, Peirce-Webb basis, non-standard system, logical circuit, AND-NOT, OR-NOT gates.

#### References

1. Pucknell, D. A. (1990). *Fundamentals of Digital Logic Design, With VLSI Circuit applications*. Prentice Hall, 472.
2. Mano, M., Kime, C. (2004). *Logic and Computer Design Fundamentals*. Prentice Hall.
3. Baranov, S. (2008). *Logic and System Design of Digital Systems*. Tallinn: TUT Press.
4. Micheli, G. (1994). *Synthesis and Optimization of Digital Circuits*. McGraw-Hill.
5. Zakrevskij, A., Pottosin, Yu., Cheremisnina, L. (2009). *Optimization in Boolean Space*. Tallinn: TUT Press.
6. Baranov, S., Karatkevich, A. (2018). On Transformation of a Logical Circuit to a Circuit with NAND and NOR Gates Only. *INTL JOURNAL OF ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS*, 64 (3), 373–378. Available at: <https://journals.pan.pl/dlibra/publication/123535/edition/107750/content>
7. Maxfield, M. (2018). Implementing and Converting Logic Circuits Using Only NAND or NOR Gates. Available at: <https://www.eeweb.com/implementing-logic-functions-using-only-nand-or-nor-gates/>
8. Poomiga, M., Ananthi, M., Sinega, M., Aashika, S M., Nambi Rajan, M. (2021). Optimization of simple combinational universal logic gates. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 03 (08), 1000–1006. Available at: [https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/volume\\_3/issue\\_8\\_august\\_2021/15911/final/fin\\_irjmets1630308031.pdf](https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/volume_3/issue_8_august_2021/15911/final/fin_irjmets1630308031.pdf)
9. Olenev, A., Potekhina, E., Khabarov, A., Zvereva, L. (2024). Informa-tion and logical transformations in Schaeffer and Pierce Bases in Maple. *ITM Web of Conferences*, 59, 02006. <https://doi.org/10.1051/itmconf/20245902006>
10. Menshikh, V. V., Nikitenko, V. A. (2022). Minimization of representations of the logical function in schaeffer and pierce bases. *Bulletin of the South Ural State University Series "Mathematics. Mechanics. Physics"*, 14 (4), 20–27. <https://doi.org/10.14529/mmph220403>
11. Barland, I. (2012). An algorithm to implement a boolean function using only NAND's or only NOR's. Rice University. Available at: <https://archive.org/details/cnx-org-col10347/page/n1/mode/2up>
12. Rajaei, A., Houshmand, M., Rouhani, M. (2011). Optimization of Combinational Logic Circuits Using NAND Gates and Genetic Programming. *Soft Computing in Industrial Applications*, 405–414. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-20505-7\\_36](https://doi.org/10.1007/978-3-642-20505-7_36)
13. Dychka, I. A., Tarasenko, V. P., Onai, M. V. (2019). *Osnovy prykladnoi teorii tsyfrovoykh avtomatov*. Kyiv, 505.
14. Kalyadin, N. I. (2006). *Praktikum po diskretnoy matematike (Chast' IV. Minimizatsiya FAL)*. Izhevsk: Izd-vo IzhGTU, 48.
15. 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. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.118336>
16. Solomko, M., Antoniuk, M., Voitovych, I., Ulianovska, Y., Pavlova, N., Biletskyi, V. (2023). Implementing the method of figurative transformations to minimize partially defined Boolean functions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (4 (121)), 6–25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.273293>
17. Solomko, M. (2024). Development of a non-standard system for simplifying boolean functions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (4 (129)), 6–34. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.305826>
18. Kondratenko, N. R. (2010). *Kompiuternyi praktykum z matematychnoi lohiky*. Vinnytsia: VNTU, 117.

19. 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. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.146312>
20. Ritsar, B. E. (1997). Metod minimizatsii bulevykh funktsiy. *Problemy upravleniya i informatiki*, 3, 100–113.
21. Cheng, D. (2005). Semi-tensor Product of Matrices and its Applications to Dynamic Systems. *New Directions and Applications in Control Theory*, 61–79. [https://doi.org/10.1007/10984413\\_5](https://doi.org/10.1007/10984413_5)
22. Feng, J., Zhao, R., Cui, Y. (2022). Simplification of logical functions with application to circuits. *Electronic Research Archive*, 30 (9), 3320–3336. <https://doi.org/10.3934/era.2022168>
23. Cortadella, J. (2003). Timing-driven logic bi-decomposition. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, 22 (6), 675–685. <https://doi.org/10.1109/tcad.2003.811447>
24. Mishchenko, A., Steinbach, B., Perkowski, M. (2001). An algorithm for bi-decomposition of logic functions. *Proceedings of the 38th Conference on Design Automation-DAC'01*, 103–108. <https://doi.org/10.1145/378239.378353>
25. Chang S.-C., Marek-Sadowdka, M., Hwang, T. (1996). Technology mapping for TLU FPGAs based on decomposition of binary decision diagrams. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, 15 (10), 1226–1236. <https://doi.org/10.1109/43.541442>
26. Pottosin, Yu. V. (2022). Synthesis of combinational circuits by means of bi-decomposition of Boolean functions. *Informatics*, 19 (1), 7–18. <https://doi.org/10.37661/1816-0301-2022-19-1-7-18>
27. Solomko, M., Batyshkina, I., Khomiuk, N., Ivashchuk, Y., Shevtsova, N. (2021). Developing the minimization of a polynomial normal form of boolean functions by the method of figurative transformations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (4 (110)), 22–37. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229786>
28. Minziuk, V. (2023). Method of minimizing boolean functions for designing digital combinational circuits. *Information and Communication Technologies, Electronic Engineering*, 3 (1), 146–153. <https://doi.org/10.23939/ictec2023.01.146>
29. 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. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214899>
30. 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. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225325>
31. 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. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206308>
32. Solomko, M., Tadeyev, P., Zubyk, L., Babych, S., Mala, Y., Voitovych, O. (2021). Implementation of the method of figurative transformations to minimizing symmetric Boolean functions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (4 (112)), 23–39. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239149>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.312971**  
**DEVISING AN ANALYTICAL METHOD FOR SOLVING THE EIGHTH-ORDER KOLMOGOROV EQUATIONS FOR AN ASYMMETRIC MARKOV CHAIN (p. 33–41)**

**Victor Kravets**

Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4770-0269>

**Mykhailo Kapitsa**

Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3800-2920>

**Illia Domanskyi**

Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8819-410X>

**Volodymyr Kravets**

Ivano-Frankivsk Professional College of Lviv National Environmental University, Ivano-Frankivsk, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5043-1947>

**Tatiana Hryshechkina**

Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1570-4150>

**Svitlana Zakurday**

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7927-8413>

The object of research is a complex system of three subsystems, which function independently of each other and are in a working or failed state. There is a need to analytically model and manage the Markov random process in the system, varying the intensity of their development-restoration and degradation-destruction flows. In the study, an analytical method for solving Kolmogorov equations of the eighth order for an asymmetric Markov chain was devised.

The corresponding Kolmogorov equations of the eighth order have an ordered transition probability matrix. The distribution of the eight roots of this equation in the complex plane has central symmetry.

The results are analytical solutions for the probabilities of the eight states of the Markov chain in time in the form of ordered determinants with respect to the indices of the eight roots and the indices of the eight states, including the column vector of the initial conditions.

Symmetry has been established in the distribution on the complex plane of eight real, negative roots of the characteristic Kolmogorov equation centered at the point defined as  $\text{Re } \vartheta = -a_7/8$ , where  $a_7$  is the coefficient of the characteristic equation of the eighth degree at the seventh power. Formulas expressing eight roots of the characteristic Kolmogorov equation have been heuristically derived, one of which is zero, due to the intensities of failures and recovery of three subsystems, the eight states of which in general make up an asymmetric Markov chain.

For structures consisting of three independently functioning processes, the random process of the transition of the structure through eight possible states with a known initial state is determined in time. An analytical solution to Kolmogorov differential equations of the eighth order for an asymmetric state graph is proposed in harmonic form for the purpose of analysis and synthesis of a random Markov process in a triple system.

**Keywords:** state graph, state probabilities, simulation of random processes, distribution of roots.

## References

1. Hajek, B. (2015). *Random Processes for Engineers*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9781316164600>
2. Asmussen, S. (2008). *Applied Probability and Queues*. Springer Science & Business Media. Available at: [https://books.google.co.uk/books?id=X1CacQAACAAJ&pg=PR1&hl=ru&source=gbs\\_selected\\_pages&cad=1#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.uk/books?id=X1CacQAACAAJ&pg=PR1&hl=ru&source=gbs_selected_pages&cad=1#v=onepage&q&f=false)
3. Pender, J. (2014). Nonstationary loss queues via cumulant moment approximations. *Probability in the Engineering and Information Sciences*, 29 (1), 27–49. <https://doi.org/10.1017/s0269964814000205>

4. Seabrook, E., Wiskott, L. (2023). A Tutorial on the Spectral Theory of Markov Chains. *Neural Computation*, 35 (11), 1713–1796. [https://doi.org/10.1162/neco\\_a\\_01611](https://doi.org/10.1162/neco_a_01611)
5. Chen, X., Li, L., Shi, Q. (2015). *Stochastic Evolutions of Dynamic Traffic Flow*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-44572-3>
6. Sadeghian, P., Han, M., Håkansson, J., Zhao, M. X. (2024). Testing feasibility of using a hidden Markov model on predicting human mobility based on GPS tracking data. *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, 12 (1). <https://doi.org/10.1080/21680566.2024.2336037>
7. Kravets, V. V., Kravets, V. V., Burov, O. V. (2016). *Reliability of Systems. Part 2. Dynamics of Failures*. Saarbrücken: Lap Lambert Academic Publishing.
8. Kravets, V. V., Bass, K. M., Kravets, V. V., Tokar, L. A. (2014). Analytical Solution of Kolmogorov Equations for Four-Condition Homogenous, Symmetric and Ergodic System. *Open Journal of Applied Sciences*, 04 (10), 497–500. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2014.410048>
9. Kravets, V., Kravets, V., Burov, O. (2021). Analytical Modeling of the Dynamic System of the Fourth Order. *Transactions on Machine Learning and Artificial Intelligence*, 9 (3), 14–24. <https://doi.org/10.14738/tmlai.93.9947>
10. Domanskyi, I. V. (2016). *Osnovy enerhoefektyvnosti elektrychnykh system z tiahovymy navantazhenniamy*. Kharkiv: TOV "Tsentr informatsiyi transportu Ukrainy", 224. Available at: [http://library.kpi.kharkov.ua/files/new\\_postupleniya/oceesi.pdf](http://library.kpi.kharkov.ua/files/new_postupleniya/oceesi.pdf)
11. Kapitsa, M. I., Hryshechka, T. S. (2014). Rational recovery model of depot processing equipment at the industrial enterprise. *Science and Transport Progress*, 4 (52), 60–66. <https://doi.org/10.15802/stp2014/27319>
12. Yun, M., Qin, W., Yang, X., Liang, F. (2019). Estimation of urban route travel time distribution using Markov chains and pair-copula construction. *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, 7 (1), 1521–1552. <https://doi.org/10.1080/21680566.2019.1637798>
13. Suliankatchi Abdulkader, R., Deneshkumar, V., Senthamarai Kannan, K., Koyilil, V., Paes, A. T., Sebastian, T. (2021). An application of Markov chain modeling and semi-parametric regression for recurrent events in health data. *Communications in Statistics: Case Studies, Data Analysis and Applications*, 8 (1), 68–80. <https://doi.org/10.1080/23737484.2021.1973926>
14. Ray, S. N., Bose, S., Chattopadhyay, S. (2020). A Markov chain approach to the predictability of surface temperature over the northeastern part of India. *Theoretical and Applied Climatology*, 143 (1-2), 861–868. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03458-z>
15. Domanskyi, V., Domanskyi, I., Zakurdai, S., Liubarskyi, D. (2022). Development of technologies for selecting energy-efficient power supply circuits of railway traction networks. *Technology Audit and Production Reserves*, 4 (1 (66)), 47–54. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.263961>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.312217

**DEVISING A METHOD FOR INTEGRATED DATASET FORMATION AND SELECTING A MODEL FOR RECOGNIZING THE TECHNICAL CONDITION OF UNMANNED AERIAL VEHICLE (p. 42–51)**

**Oleksandr Perekuda**

Korolov Zhytomyr Military Institute, Zhytomyr, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8802-0740>

**Andrii Rodionov**

Korolov Zhytomyr Military Institute, Zhytomyr, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0960-616X>

**Dmytro Fedorchuk**

Korolov Zhytomyr Military Institute, Zhytomyr, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2896-3522>

**Serhii Zhuravskiy**

Korolov Zhytomyr Military Institute, Zhytomyr, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6809-0444>

**Mykola Konvisar**

Scientific-Research Center of Missile Troops and Artillery, Sumy, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2006-770X>

**Taras Volynets**

Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9152-4680>

**Vitalii Datsyk**

Joint Forces Command of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9057-729X>

**Mykola Zakalad**

The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0624-4140>

**Serhii Tsybulia**

The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0323-1771>

**Taras Trysnyuk**

Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3672-8242>

The object of this study is the process of forming a training dataset for diagnosing the technical condition of unmanned aerial vehicles (UAVs) using machine-learning algorithms. UAV flights are extremely important for various aspects of troop deployment. Combat UAV flights are performed under the influence of negative factors that cause flight special cases (FSC), which hinder the execution of combat missions, lead to mission failures, and result in the aircraft damage or loss. The available capabilities of autopilots are not enough for control under complex conditions, and in certain situations, the human operator cannot timely recognize a flight special case, including evaluation of the destructive impact of enemy's electronic warfare systems on communication channels and operation of UAV. Therefore, the urgent issue is the intellectualization of on-board control systems, particularly towards recognizing the current technical state of UAV using artificial intelligence methods. To design such systems, labeled datasets are required. The procedure for forming datasets that consider the specificity of UAV construction and their combat use under adversarial conditions is not defined, necessitating the development of an appropriate method.

Based on the well-known CRISP-DM methodology, a method for dataset formation has been proposed for subsequent use in artificial intelligence systems that use various machine-learning methods.

This method differs from existing ones by considering the specificity of combat mission execution under adversarial conditions, which allowed for an 8.0 % increase in the accuracy of recognizing special cases in UAV flights by the onboard system. It also enabled timely detection of electronic warfare impacts on UAV and evaluation of the effectiveness of radio signal receivers jamming.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, training dataset, machine learning, jamming effectiveness evaluation.

**References**

1. Petruk, S. M. (2017). Bezpilotni aviatsiyi kompleksy v zbroinykh konfliktakh ostannikh desiatyrich. *Ozbroiennia Ta Viyskova Tekhnika*, 13 (1), 44–49. [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2017.1\(13\).44-49](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2017.1(13).44-49)
2. Pavlenko, M., Tikhonov, I., Nikiforov, I. (2021). Recommendations for the efficient use of unmanned aerial vehicles in Joint Forces Ope-

- ration. *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, 1 (42), 131–136. <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.42.17>
3. Gudla, C., Rana, S., Sung, A. (2018). Defense techniques against cyber attacks on unmanned aerial vehicles. *Proceedings of the International Conference on Embedded Systems, Cyber-physical Systems, and Applications (ESCS)*. The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, 110–116. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/328135272\\_Defense\\_Techniques\\_Against\\_Cyber\\_Attacks\\_on\\_Unmanned\\_Aerial\\_Vehicles](https://www.researchgate.net/publication/328135272_Defense_Techniques_Against_Cyber_Attacks_on_Unmanned_Aerial_Vehicles)
  4. Javaid, A. Y., Sun, W., Devabhaktuni, V. K., Alam, M. (2012). Cyber security threat analysis and modeling of an unmanned aerial vehicle system. *2012 IEEE Conference on Technologies for Homeland Security (HST)*. <https://doi.org/10.1109/thts.2012.6459914>
  5. Kerns, A. J., Shepard, D. P., Bhatti, J. A., Humphreys, T. E. (2014). Unmanned Aircraft Capture and Control Via GPS Spoofing. *Journal of Field Robotics*, 31 (4), 617–636. <https://doi.org/10.1002/rob.21513>
  6. Sedjelmaci, H., Senouci, S. M., Ansari, N. (2018). A Hierarchical Detection and Response System to Enhance Security Against Lethal Cyber-Attacks in UAV Networks. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 48 (9), 1594–1606. <https://doi.org/10.1109/tsmc.2017.2681698>
  7. Mitchell, R., Ing-Ray Chen. (2014). Adaptive Intrusion Detection of Malicious Unmanned Air Vehicles Using Behavior Rule Specifications. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 44 (5), 593–604. <https://doi.org/10.1109/tsmc.2013.2265083>
  8. Muniraj, D., Farhood, M. (2017). A framework for detection of sensor attacks on small unmanned aircraft systems. *2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 9333, 1189–1198. <https://doi.org/10.1109/icuas.2017.7991465>
  9. Zhou, Z., Liu, Y. (2021). A Smart Landing Platform With Data-Driven Analytic Procedures for UAV Preflight Safety Diagnosis. *IEEE Access*, 9, 154876–154891. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3128866>
  10. Li, M., Li, G., Zhong, M. (2016). A data driven fault detection and isolation scheme for UAV flight control system. *2016 35th Chinese Control Conference (CCC)*. <https://doi.org/10.1109/chicc.2016.7554425>
  11. Gebrie, M. T. (2022). Digital Twin for UAV Anomaly Detection. *The University of Oslo*, 74. Available at: <https://www.duo.uio.no/bitstream/handle/10852/93934/1/DTanomaly.pdf>
  12. Liang, S., Zhang, S., Huang, Y., Zheng, X., Cheng, J., Wu, S. (2022). Data-driven fault diagnosis of FW-UAVs with consideration of multiple operation conditions. *ISA Transactions*, 126, 472–485. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2021.07.043>
  13. Yousefi, P., Fekriazgomi, H., Demir, M. A., Prevost, J. J., Jamshidi, M. (2018). Data-Driven Fault Detection of Un-Manned Aerial Vehicles Using Supervised Learning Over Cloud Networks. *2018 World Automation Congress (WAC)*. <https://doi.org/10.23919/wac.2018.8430428>
  14. Yang, T., Chen, J., Deng, H., Lu, Y. (2023). UAV Abnormal State Detection Model Based on Timestamp Slice and Multi-Separable CNN. *Electronics*, 12 (6), 1299. <https://doi.org/10.3390/electronics12061299>
  15. Perehuda, O., Rodionov, A., Bobunov, A. (2022). Faceted classification of occasions in flight for class 1 unmanned aerial vehicle. *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, 1 (46), 85–91. <https://doi.org/10.30748/nitps.2022.46.12>
  16. Mohd Selamat, S. A., Prakoonwit, S., Sahandi, R., Khan, W., Ramachandran, M. (2018). Big data analytics – A review of data-mining models for small and medium enterprises in the transportation sector. *WIRES Data Mining and Knowledge Discovery*, 8 (3). <https://doi.org/10.1002/widm.1238>
  17. Chapman, P., Clinton, J., Kerber, R., Khabaza, T., Reinartz, T., Shearer, C. et al. (2000). *CRISP-DM 1.0: Step-by-Step Data Mining Guide*. CRISP-DM consortium. SPSS, 78. Available at: <https://www.kde.cs.uni-kassel.de/wp-content/uploads/lehre/ws2012-13/kdd/files/CRISPWP-0800.pdf>
  18. Plotnikova, V., Dumas, M., Milani, F. (2021). Adapting the CRISP-DM Data Mining Process: A Case Study in the Financial Services Domain. *Research Challenges in Information Science*, 55–71. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-75018-3\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-75018-3_4)
  19. Niakšu, O. (2015). CRISP Data Mining Methodology Extension for Medical Domain. *Baltic J. Modern Computing*, 3 (2), 92–109. Available at: [https://www.bjmc.lu.lv/fileadmin/user\\_upload/lu\\_portal/projekti/bjmc/Contents/3\\_2\\_2\\_Niaksu.pdf](https://www.bjmc.lu.lv/fileadmin/user_upload/lu_portal/projekti/bjmc/Contents/3_2_2_Niaksu.pdf)
  20. Solarte, J. (2002). A proposed data mining methodology and its application to industrial engineering. *University of Tennessee*, 104. Available at: [https://trace.tennessee.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3549&context=utk\\_gradthes](https://trace.tennessee.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3549&context=utk_gradthes)
  21. Plotnikova, V., Dumas, M., Milani, F. (2020). Adaptations of data mining methodologies: a systematic literature review. *PeerJ Computer Science*, 6, e267. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.267>
  22. Kononova, K. (2020). Mashynne navchannia: metody ta modeli. *Kharkiv: KhNU imeni V. N. Karazina*, 301. Available at: [https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/593075/mod\\_folder/intro/Базовий%20підручник\\_2%20%28Кононова%20К.%20Ю.%20Машинне%20навчання%20-%20методи%20та%20моделі%29.pdf](https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/593075/mod_folder/intro/Базовий%20підручник_2%20%28Кононова%20К.%20Ю.%20Машинне%20навчання%20-%20методи%20та%20моделі%29.pdf)
  23. Lykhach, O., Ugryumov, M., Shevchenko, D., Shmatkov, S. (2022). Anomaly detection methods in sample datasets when managing processes in systems by the state. *Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University, Series "Mathematical Modeling. Information Technology. Automated Control Systems"*, 53, 21–40. <https://doi.org/10.26565/2304-6201-2022-53-03>
  24. Subbotin, S. A. (2010). Kompleks karakteristik i kriteriev sravneniya obuchayuschih vyborok dlya resheniya zadach diagnostiki i raspoznavaniya obrazov. *Matematicheskie mashiny i sistemy*, 1 (1), 25–39. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/247158465\\_Kompleks\\_harakteristik\\_i\\_kriteriev\\_sravnenia\\_obucausih\\_vyborok\\_dla\\_resenia\\_zadac\\_diagnostiki\\_i\\_raspoznavaniya\\_obrazov](https://www.researchgate.net/publication/247158465_Kompleks_harakteristik_i_kriteriev_sravnenia_obucausih_vyborok_dla_resenia_zadac_diagnostiki_i_raspoznavaniya_obrazov)
  25. Kavrin, D. A., Subbotin, S. A. (2018). The methods for quantitative solving the class imbalance problem. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 1 (44), 83–90. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/riu\\_2018\\_1\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/riu_2018_1_12)
  26. Biloborodova, T., Koverha, M., Petrov, P., Lomakin, S., Krytska, Ya. (2021). Doslidzhennia metodiv vyrisnennia problemy nebalansovanykh danykh. *Naukovi visti Dalivskoho universytetu*, 21. <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2021-21-1>
  27. Kovbasyuk, S., Osadchuk, R., Romanchuk, M., Naumchak, L. (2023). An approach to forming a prior dataset of neural network for processing digital aerial photos. *Problems of construction, testing, application and operation of complex information systems*, 23, 77–88. <https://doi.org/10.46972/2076-1546.2022.23.06>
  28. Bondyra, A., Gąsior, P., Gardecki, S., Kasiński, A. (2018). Development of the Sensory Network for the Vibration-based Fault Detection and Isolation in the Multirotor UAV Propulsion System. *Proceedings of the 15th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics*. <https://doi.org/10.5220/0006846801020109>
  29. Sadhu, V., Anjum, K., Pompili, D. (2023). On-Board Deep-Learning-Based Unmanned Aerial Vehicle Fault Cause Detection and Classification via FPGAs. *IEEE Transactions on Robotics*, 39 (4), 3319–3331. <https://doi.org/10.1109/tro.2023.3269380>
  30. Abramov, N., Talalayev, A., Fralenko, V., Khachumov, V., Shishkin, O. (2017). The high-performance neural network system for monitoring of state and behavior of spacecraft subsystems by telemetry data. *Program Systems: Theory and Applications*, 8 (3), 109–131. <https://doi.org/10.25209/2079-3316-2017-8-3-109-131>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313333

**DETERMINING THE INFLUENCE OF DATA ON WORKING WITH VIDEO MATERIALS ON THE ACCURACY OF STUDENT SUCCESS PREDICTION MODELS (p. 52–62)**

Vladyslav Pylypenko

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2761-4817>

**Volodymyr Statsenko**

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3932-792X>

**Tetiana Bila**

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5014-9052>

**Dmytro Statsenko**

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3064-3109>

The object of this study is models for predicting students' success, constructed on the basis of machine learning methods. The paper reports results of research into the problem of improving their accuracy by expanding the data set for training the specified models. The most available are data on student actions, which are automatically collected by learning management systems. Entering additional information about students' work increases time and resources but allows the improvement of the accuracy of the models. In the study, information about students' work with video materials, particularly the number and duration of views, was entered into the original data set. To automate the collection of this data, the plugin for the Moodle system has been developed, which stores information about user's actions with the video player and the duration of watching video materials in the database. Model training was carried out using Naive Bayes (NB), logistic regression (LR), random forest (RF), and neural networks (NN) algorithms with and without video data. For the models using video viewing data, accuracy increased by 10 %, balanced accuracy by 15 %, and overall performance, expressed as area under the curve (AUC), increased by 14 %. The highest prediction accuracy, with a difference of 1.8 %, was obtained by models built using RF algorithms – 87.1 % and NN – 85.3 %. At the same time, the accuracy of the models obtained by the NB and LR algorithms was 70.7 % and 76.5 %. The increase in accuracy for them was 2.3 % and 8.1 %, respectively. Analysis of calculations confirms the assumption that students' work with educational video materials is correlated with their success. The results make it possible to find a reasonable compromise between model development costs and its accuracy at the stage of data preparation for model training.

**Keywords:** success prediction, random forest, logistic regression, neural networks, naive Bayes.

**References**

- Liu, M., Yu, D. (2022). Towards intelligent E-learning systems. *Education and Information Technologies*, 28 (7), 7845–7876. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11479-6>
- Soloshych, I., Grynova, M., Kononets, N., Shvedchikova, I., Bunetska, I. (2021). Competence and Resource-Oriented Approaches to the Development of Digital Educational Resources. 2021 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2, 1–5. <https://doi.org/10.1109/mees52427.2021.9598603>
- Panasiuk, O., Akimova, L., Kuznietsova, O., Panasiuk, I. (2021). Virtual Laboratories for Engineering Education. 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), 1, 637–641. <https://doi.org/10.1109/acit52158.2021.9548567>
- Bradley, V. M. (2020). Learning Management System (LMS) Use with Online Instruction. *International Journal of Technology in Education*, 4 (1), 68. <https://doi.org/10.46328/ijte.36>
- Gamage, S. H. P. W., Ayres, J. R., Behrend, M. B. (2022). A systematic review on trends in using Moodle for teaching and learning. *International Journal of STEM Education*, 9 (1). <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00323-x>
- Bognár, L., Fauszt, T. (2022). Factors and conditions that affect the goodness of machine learning models for predicting the success of learning. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 3, 100100. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100100>
- Rastrollo-Guerrero, J. L., Gómez-Pulido, J. A., Durán-Domínguez, A. (2020). Analyzing and Predicting Students' Performance by Means of Machine Learning: A Review. *Applied Sciences*, 10 (3), 1042. <https://doi.org/10.3390/app10031042>
- Sáiz-Manzanares, M. C., Marticorena-Sánchez, R., García-Osorio, C. I. (2020). Monitoring Students at the University: Design and Application of a Moodle Plugin. *Applied Sciences*, 10 (10), 3469. <https://doi.org/10.3390/app10103469>
- Gaftandzhieva, S., Talukder, A., Gohain, N., Hussain, S., Theodorou, P., Salal, Y. K., Doneva, R. (2022). Exploring Online Activities to Predict the Final Grade of Student. *Mathematics*, 10 (20), 3758. <https://doi.org/10.3390/math10203758>
- Yağcı, M. (2022). Educational data mining: prediction of students' academic performance using machine learning algorithms. *Smart Learning Environments*, 9 (1). <https://doi.org/10.1186/s40561-022-00192-z>
- Pylypenko, V., Statsenko, V. (2024). Assessment of the efficiency of the success prediction model using machine learning methods. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 1 (3 (335)), 349–356. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-335-3-47>
- Ljubobratović, D., Matetić, M. (2020). Using LMS activity logs to predict student failure with random forest algorithm. *INFuture2019: Knowledge in the Digital Age*. <https://doi.org/10.17234/infuture.2019.14>
- Aleksandrova, Y. (2019). Predicting students performance in moodle platforms using machine learning algorithms. *Conferences of the department Informatics*, 1, 177–187. Available at: [https://informatics.ue-varna.bg/conference19/Conf.proceedings\\_Informatics-50.years%20177-187.pdf](https://informatics.ue-varna.bg/conference19/Conf.proceedings_Informatics-50.years%20177-187.pdf)
- Zacharis, N. (2016). Predicting Student Academic Performance in Blended Learning Using Artificial Neural Networks. *International Journal of Artificial Intelligence & Applications*, 7 (5), 17–29. <https://doi.org/10.5121/ijaia.2016.7502>
- Tamada, M. M., Giusti, R., Netto, J. F. de M. (2022). Predicting Students at Risk of Dropout in Technical Course Using LMS Logs. *Electronics*, 11 (3), 468. <https://doi.org/10.3390/electronics11030468>
- Althibyani, H. A. (2024). Predicting student success in MOOCs: a comprehensive analysis using machine learning models. *PeerJ Computer Science*, 10, e2221. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.2221>
- Jabbar, H. K., Khan, R. Z. (2014). Methods to Avoid Over-Fitting and Under-Fitting in Supervised Machine Learning (Comparative Study). *Computer Science, Communication and Instrumentation Devices*, 163–172. [https://doi.org/10.3850/978-981-09-5247-1\\_017](https://doi.org/10.3850/978-981-09-5247-1_017)
- Géron, A. (2022). Hands-on machine learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow. O'Reilly Media, Inc.
- Sial, A. H., Rashdi, S. Y. S., Khan, A. H. (2021). Comparative Analysis of Data Visualization Libraries Matplotlib and Seaborn in Python. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 10 (1), 277–281. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2021/391012021>
- Sapre, A., Vartak, S. (2020). Scientific Computing and Data Analysis using NumPy and Pandas. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 7, 1334–1346.
- Krstinić, D., Braović, M., Šerić, L., Božić-Štulić, D. (2020). Multi-label Classifier Performance Evaluation with Confusion Matrix. *Computer Science & Information Technology*. <https://doi.org/10.5121/csit.2020.100801>
- Lavazza, L., Morasca, S., Rotoloni, G. (2023). On the Reliability of the Area Under the ROC Curve in Empirical Software Engineering. *Proceedings of the 27th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*. <https://doi.org/10.1145/3593434.3593456>
- Bowers, A. J., Zhou, X. (2019). Receiver Operating Characteristic (ROC) Area Under the Curve (AUC): A Diagnostic Measure for Evaluating the Accuracy of Predictors of Education Outcomes.

Journal of Education for Students Placed at Risk (JESPAR), 24 (1), 20–46. <https://doi.org/10.1080/10824669.2018.1523734>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.312884**

**REVEALING THE CLOSENESS OF PUBLICATION TIES IN SCIENTIFIC COOPERATION TAKING INTO ACCOUNT SCIENTIFIC PRODUCTIVITY BASED ON THE TIME-WEIGHTED PAGERANK METHOD WITH CITATION INTENSITY (p. 63–70)**

**Andrii Biloshchytskyi**

Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan  
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9548-1959>

**Oleksandr Kuchanskyi**

Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan  
Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1277-8031>

**Yurii Andrashko**

Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2306-8377>

**Aidos Mukhatayev**

Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8667-3200>

**Sapar Toxanov**

Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2915-9619>

**Adil Faizullin**

Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5644-9841>

**Nataliia Yurchenko**

Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2825-8180>

The object of this study is the processes related to the assessment of the closeness of publication ties among scientists and taking into account their productivity related to scientific activity. This is necessary to increase the efficiency of management of research projects. To this end, the PR, TWPR, TWPR-CI methods for calculating scientific productivity estimates of scientists were described. In particular, the TWPR-CI method gives preference to those scientists whose works were more intensively published and cited during the last period of time, which is important for the formation of the composition of the executors of scientific research projects. The method for calculating the closeness of publication ties among scientists or average asymmetric tie strength was also described. The verification of dependence between the evaluation of the closeness of publication ties among scientists and their scientific productivity was carried out based on the analysis of the citation network of scientific publications and the network of scientific cooperation. The networks are built on the basis of the open access Citation Network Dataset (ver. 14). The dataset contains information on more than 5 million scientific publications and more than 36 million citations to them. The correlation analysis revealed the presence of a weak inverse relationship between these estimates. However, the weakness of the connection allows us to state that for this case there is no established correlation between the assessment of scientific productivity and the assessment of the closeness of publication ties. That is, the hypothesis that the weak connection between scientists makes it possible to increase the productivity and innovativeness of their publications was not confirmed. The results allow for a systematic approach to the process of evaluation and planning of the results

of research projects, as well as the formation of the composition of their executors.

**Keywords:** scientific productivity, closeness of publication ties, scientific cooperation, PageRank, scientific research project.

**References**

1. Michelfelder, I., Kratzer, J. (2013). Why and How Combining Strong and Weak Ties within a Single Interorganizational R&D Collaboration Outperforms Other Collaboration Structures. *Journal of Product Innovation Management*, 30 (6), 1159–1177. <https://doi.org/10.1111/jpim.12052>
2. Tu, J. (2024). Openness to international collaboration and tie strength in enhancing knowledge creation. *Journal of Informetrics*, 18 (1), 101482. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2023.101482>
3. Fronczak, A., Mrowinski, M. J., Fronczak, P. (2022). Scientific success from the perspective of the strength of weak ties. *Scientific Reports*, 12 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09118-8>
4. Nakauchi, M., Washburn, M., Klein, K. (2017). Differences between inter- and intra-group dynamics in knowledge transfer processes. *Management Decision*, 55 (4), 766–782. <https://doi.org/10.1108/md-08-2016-0537>
5. Heger, T., Boman, M. (2015). Networked foresight – The case of EIT ICT Labs. *Technological Forecasting and Social Change*, 101, 147–164. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2014.02.002>
6. Gattringer, R., Wiener, M., Strehl, F. (2017). The challenge of partner selection in collaborative foresight projects. *Technological Forecasting and Social Change*, 120, 298–310. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.01.018>
7. Funk, R. J., Owen-Smith, J. (2017). A Dynamic Network Measure of Technological Change. *Management Science*, 63 (3), 791–817. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2015.2366>
8. Wu, L., Wang, D., Evans, J. A. (2019). Large teams develop and small teams disrupt science and technology. *Nature*, 566 (7744), 378–382. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-0941-9>
9. Hirsch, J. E. (2005). An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102 (46), 16569–16572. <https://doi.org/10.1073/pnas.0507655102>
10. Leskovec, J., Rajaraman, A., Ullman, J. D. (2014). *Mining of Massive Datasets*. Cambridge University Press <https://doi.org/10.1017/cbo9781139924801>
11. Brin, S., Page, L. (1998). The anatomy of a large-scale hypertextual Web search engine. *Computer Networks and ISDN Systems*, 30 (1-7), 107–117. [https://doi.org/10.1016/s0169-7552\(98\)00110-x](https://doi.org/10.1016/s0169-7552(98)00110-x)
12. Kuchansky, A., Biloshchytskyi, A., Andrashko, Y., Biloshchytska, S., Faizullin, A. (2022). The Scientific Productivity of Collective Subjects Based on the Time-Weighted PageRank Method with Citation Intensity. *Publications*, 10 (4), 40. <https://doi.org/10.3390/publications10040040>
13. Wang, Y., Zeng, A., Fan, Y., Di, Z. (2019). Ranking scientific publications considering the aging characteristics of citations. *Scientometrics*, 120 (1), 155–166. <https://doi.org/10.1007/s11192-019-03117-9>
14. Xing, W., Ghorbani, A. (2004). Weighted PageRank algorithm. *Proceedings. Second Annual Conference on Communication Networks and Services Research*. <https://doi.org/10.1109/dnsr.2004.1344743>
15. Manaskasamak, B., Rungsawang, A., Yamana, H. (2010). Time-weighted web authoritative ranking. *Information Retrieval*, 14 (2), 133–157. <https://doi.org/10.1007/s10791-010-9138-4>
16. Andrashko, Y., Kuchanskyi, O., Biloshchytskyi, A., Pohoriliak, O., Gladka, M., Slyvka-Tylyshchak, G. et al. (2023). A method for assessing the productivity trends of collective scientific subjects based on the modified PageRank algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (4 (121)), 41–47. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.273929>
17. Biloshchytskyi, A., Kuchansky, A., Andrashko, Yu., Biloshchytska, S. (2020). Use of the link ranking method to evaluate scientific activities of scientific space subjects. *Scientific Journal of Astana IT University*, 1. <https://doi.org/10.37943/aitu.2020.1.63600>

18. Gogunskii, V., Kolesnikov, O., Oborska, G., Moskaliuk, A., Kolesnikova, K., Harelik, S., Lukianov, D. (2017). Representation of project systems using the Markov chain. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (3 (86)), 60–65. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.97883>
19. Lukianov, D., Kolesnikova, K., Musurmanov, A., Lisnevskiy, R., Lisnevskiy, V. (2023). Using Blockchain Technology in Scientometrics. *Digital Technologies in Education, Science and Industry 2023*. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-3680/Short4.pdf>
20. Sergeeva, T., Festeu, D., Bronin, S., Turlakova, N. (2021). Student – Training Environment Interaction: Soft Skills Development within E-learning. *Information Technology and Implementation 2021*, 290–298. Available at: [https://ceur-ws.org/Vol-3132/Short\\_10.pdf](https://ceur-ws.org/Vol-3132/Short_10.pdf)
21. Biloshchytskyi, A., Kuchansky, A., Andrashko, Y., Bielova, O. (2018). Learning Space Conceptual Model for Computing Games Developers. 2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). <https://doi.org/10.1109/stc-csit.2018.8526719>
22. Granovetter, M. S. (1973). The Strength of Weak Ties. *American Journal of Sociology*, 78 (6), 1360–1380. <https://doi.org/10.1086/225469>
23. Citation Network Dataset: DBLP+Citation, ACM Citation network. Available at: <https://www.aminer.org/citation>
24. Tang, J., Zhang, J., Yao, L., Li, J., Zhang, L., Su, Z. (2008). ArnetMiner: Extraction and Mining of Academic Social Networks. In *Proceedings of the Fourteenth International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. Las Vegas, 990–998.
25. DBLP. Available at: <https://dblp.org/>
26. Microsoft Academic Graph. Available at: <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/microsoft-academic-graph/>
27. Association for Computing Machinery. Available at: <https://www.acm.org/>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313099

## EVALUATION OF PROTOTYPING METHODS FOR INTERACTIVE VIRTUAL SYSTEMS BASED ON FUZZY PREFERENCE RELATION (p. 71–81)

**Alona Kudriashova**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0496-1381>

**Iryna Pikh**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9909-8444>

**Vsevolod Senkivskyy**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4510-540X>

**Yulian Merenych**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3236-1308>

The object of this study is the process of determining the optimal method for prototyping interactive virtual systems using the principle of multi-criteria optimization. The paper addresses the task to design tools for evaluating prototyping methods and introduces software developed to identify the best option according to priority criteria. The optimal prototyping method was chosen based on the maximum value of the membership function with indicators of 0.3, 0.7, and 1. Thus, the best method for the given task is rapid prototyping, with a membership function value equal to 1. These results have made it possible to solve the problem by evaluating fuzzy preference relations on a set of alternatives. Additionally, a relation convolution was constructed, from which a subset of non-dominated alternatives was identified.

The key features of the proposed approach are obtaining clear quantitative evaluation parameters by processing descriptive, non-unified, and non-formalized input data. The fuzzy preference rela-

tions for the set of alternatives are explained by the analysis of the most common methods for prototyping interactive systems.

The developed information system could be used for managerial decision-making regarding the selection of optimal prototyping option from several possibilities, by comparing methods based on predefined criteria with arbitrary weighting coefficients. The result of the research is a universal system adaptable to specific user tasks. The resulting data will contribute to improving the efficiency of prototyping and, consequently, reducing costs.

**Keywords:** interactive system, computer game, multi-criteria optimization method, fuzzy preference relation.

## References

1. Rodriguez-Calero, I. B., Coulentianos, M. J., Daly, S. R., Burrige, J., Sienko, K. H. (2020). Prototyping strategies for stakeholder engagement during front-end design: Design practitioners' approaches in the medical device industry. *Design Studies*, 71, 100977. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2020.100977>
2. Malik, R. A., Frimadani, M. R. (2022). UI/UX Analysis and Design Development of Less-ON Digital Startup Prototype by Using Lean UX. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi)*, 6 (6), 958–965. <https://doi.org/10.29207/resti.v6i6.4454>
3. Alsaqqa, S., Sawalha, S., Abdel-Nabi, H. (2020). Agile Software Development: Methodologies and Trends. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, 14 (11), 246. <https://doi.org/10.3991/ijim.v14i11.13269>
4. Nasution, W. S. L., Nusa, P. (2021). UI/UX Design Web-Based Learning Application Using Design Thinking Method. *ARRUS Journal of Engineering and Technology*, 1 (1), 18–27. <https://doi.org/10.35877/jetech532>
5. Dewi, L. J. E., Wijaya, I. N. S. W., Seputra, K. A. (2021). Web-based Buleleng regency agriculture product information system development. *Journal of Physics: Conference Series*, 1810 (1), 012029. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1810/1/012029>
6. Oura, F., Ainoya, T., Eibo, A., Kasamatsu, K. (2023). Prototyping Process Analyzed from Dialogue and Behavior in Collaborative Design. *Human Interface and the Management of Information*, 545–556. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-35129-7\\_40](https://doi.org/10.1007/978-3-031-35129-7_40)
7. Lauff, C. A., Knight, D., Kotys-Schwartz, D., Rentschler, M. E. (2020). The role of prototypes in communication between stakeholders. *Design Studies*, 66, 1–34. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2019.11.007>
8. Schade, C., Stagge, A. (2022). How to Evaluate Serious Games Concepts: A Systematic Prototyping and Testing Approach. *European Conference on Games Based Learning*, 16 (1), 518–525. <https://doi.org/10.34190/ecgbl.16.1.515>
9. Karlsson, T., Brusk, J., Engström, H. (2022). Level Design Processes and Challenges: A Cross Section of Game Development. *Games and Culture*, 18 (6), 821–849. <https://doi.org/10.1177/15554120221139229>
10. Westcott, E. (2020). Game sketching: Exploring approaches to research-creation for games. *Virtual Creativity*, 10 (1), 11–26. [https://doi.org/10.1386/vcr\\_00014\\_1](https://doi.org/10.1386/vcr_00014_1)
11. Leiva, G., Nguyen, C., Kazi, R. H., Asente, P. (2020). Pronto: Rapid Augmented Reality Video Prototyping Using Sketches and Enaction. *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–13. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376160>
12. Jiang, E., Olson, K., Toh, E., Molina, A., Donsbach, A., Terry, M., Cai, C. J. (2022). PromptMaker: Prompt-based Prototyping with Large Language Models. *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts*. <https://doi.org/10.1145/3491101.3503564>
13. Kent, L., Snider, C., Gopsill, J., Hicks, B. (2021). Mixed reality in design prototyping: A systematic review. *Design Studies*, 77, 101046. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2021.101046>
14. Babichev, S., Liakh, I., Kalinina, I. (2023). Applying a Recurrent Neural Network-Based Deep Learning Model for Gene Expression

- Data Classification. Applied Sciences, 13 (21), 11823. <https://doi.org/10.3390/app132111823>
15. Senkivskiy, V., Kudriashova, A., Pikh, I., Hileta, I., Lytovchenko, O. (2019). Models of Postpress Processes Designing. Proceedings of the 1st International Workshop on Digital Content & Smart Multimedia (DCSMart 2019), 259–270. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-2533/paper24.pdf>
  16. Pikh, I., Senkivskiy, V., Kudriashova, A., Senkivska, N. (2022). Prognostic Assessment of COVID-19 Vaccination Levels. Lecture Notes in Data Engineering, Computational Intelligence, and Decision Making, 246–265. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-16203-9\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-031-16203-9_15)
  17. Senkivskiy, V., Pikh, I., Babichev, S., Kudriashova, A., Senkivska, N. (2019). Modeling of Alternatives and Defining the Best Options for Websites Design. Proceedings of the 2nd International Workshop on Intelligent Information Technologies & Systems of Information Security with CEUR-WS, 259–270. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-2853/paper24.pdf>
  18. Sahu, A. K., Padhy, R. K., Dhir, A. (2020). Envisioning the Future of Behavioral Decision-Making: A Systematic Literature Review of Behavioral Reasoning Theory. Australasian Marketing Journal, 28 (4), 145–159. <https://doi.org/10.1016/j.ausmj.2020.05.001>
  19. Coccia, M. (2020). Critical Decisions in Crisis Management: Rational Strategies of Decision Making. Journal of Economics Library, 7 (2), 81–96. Available at: <https://ssrn.com/abstract=3651245>
  20. Bhui, R., Lai, L., Gershman, S. J. (2021). Resource-rational decision making. Current Opinion in Behavioral Sciences, 41, 15–21. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2021.02.015>
  21. Durnyak, B., Hileta, I., Pikh, I., Kudriashova, A., Petiak, Y. (2019). Designing a Fuzzy Controller for Prediction of Tactile Product Quality. Proceedings of the 1st International Workshop on Digital Content & Smart Multimedia (DCSMart 2019), 70–81. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-2533/paper7.pdf>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.311235**  
**METHODICAL APPROACH TO ASSESSING THE STATE OF HIERARCHICAL SYSTEMS USING A METAHEURISTIC ALGORITHM (p. 82–88)**

**Andrii Shyshatskyi**

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

**Svitlana Kashkevich**

National Aviation University, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4448-3839>

**Igor Kyrychenko**

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2128-3500>

**Oleksiy Khakhlyuk**

Institute of Special Communications and Information Protection of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1749-0109>

**Volodymyr Kubrak**

Institute of Special Communications and Information Protection of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8877-5289>

**Andrii Koval**

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6819-6423>

**Oleksandr Koval**

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5690-2749>

**Nadiia Protas**

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

**Vitalii Stryhun**

State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Cherkasy, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3483-1315>

**Ievgenii Kuzminov**

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0006-9749-0297>

The object of the study is hierarchical systems. The subject of the study is the process of assessing the state of hierarchical systems using the advanced antlion algorithm (ALA), an advanced genetic algorithm and evolving artificial neural networks. The problem solved in the study is to increase the efficiency of assessing the state of hierarchical systems, regardless of the system hierarchy level. The originality of the study is that:

- the initial setting of ALA is carried out taking into account the type of uncertainty using appropriate correction factors for the degree of awareness of anthill location (priority search directions);
- the initial velocity of each ALA is taken into account, which allows determining the priority of search by each ALA in the specified search direction;
- the fitness of ALA hunting locations is determined, which reduces the time for assessing the state of the hierarchical system;
- the use of the procedure of global restart of the algorithm, which allows the algorithm to go beyond the current optimum and improve the exploration ability of the algorithm, which reduces the time for assessing the state of hierarchical systems;
- the possibility of clarifying the choice of an anthill at the hunting stage due to ranking anthills by the level of ant pheromone;
- improved ability to select the best ALA in comparison with random selection using an advanced genetic algorithm, which improves the reliability of assessing the state of complex hierarchical systems.

The proposed methodical approach provides a 22–25 % increase in the efficiency of assessing the state of hierarchical systems by using additional advanced procedures. The proposed methodical approach should be used to solve the problems of assessing the state of complex hierarchical systems under uncertainty and risks characterized by a high degree of complexity.

**Keywords:** complex hierarchical systems, genetic algorithm, artificial neural networks, swarm algorithms.

## References

1. Bashkyrov, O. M., Kostyna, O. M., Shyshatskyi, A. V. (2015). Rozvytok intehrovanykh system zviazku ta peredachi danykh dlia potreb Zbroinykh Syl. Ozbroiennia ta viyskova tekhnika, 1, 35–39. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt\\_2015\\_1\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt_2015_1_7)
2. Dudnyk, V., Sinenko, Y., Matsyk, M., Demchenko, Y., Zhyvotovskiy, R., Repilo, I. et al. (2020). Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (2 (105)), 37–47. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
3. Sova, O., Shyshatskyi, A., Salnikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., Hrokholskyi, Y. (2021). Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment. EUREKA: Physics and Engineering, 4, 30–40. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>
4. Pievtsov, H., Turinskyi, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., Shyshatskyi, A. (2020). Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. EUREKA: Physics and Engineering, 4, 78–89. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>



5. Zuiev, P., Zhyvotovskiy, R., Zvieriev, O., Hatsenko, S., Kuprii, V., Nakonechnyi, O. et al. (2020). Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (106)), 14–23. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>
6. Shyshatskyi, A. (2020). Complex Methods of Processing Different Data in Intellectual Systems for Decision Support System. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9 (4), 5583–5590. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/206942020>
7. Ko, Y.-C., Fujita, H. (2019). An evidential analytics for buried information in big data samples: Case study of semiconductor manufacturing. *Information Sciences*, 486, 190–203. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.079>
8. Ramaji, I. J., Memari, A. M. (2018). Interpretation of structural analytical models from the coordination view in building information models. *Automation in Construction*, 90, 117–133. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025>
9. Rogovyi, A. (2018). Energy performances of the vortex chamber supercharger. *Energy*, 163, 52–60. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.075>
10. Chen, H. (2018). Evaluation of Personalized Service Level for Library Information Management Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Procedia Computer Science*, 131, 952–958. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.233>
11. Chan, H. K., Sun, X., Chung, S.-H. (2019). When should fuzzy analytic hierarchy process be used instead of analytic hierarchy process? *Decision Support Systems*, 125, 113114. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113114>
12. Koval, M., Sova, O., Shyshatskyi, A., Artabaiev, Y., Garashchuk, N., Yivzhenko, Y. et al. (2022). Improving the method for increasing the efficiency of decision-making based on bio-inspired algorithms. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (120)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268621>
13. Raju, M., Saikia, L. C., Sinha, N. (2016). Automatic generation control of a multi-area system using ant lion optimizer algorithm based PID plus second order derivative controller. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 80, 52–63. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2016.01.037>
14. Meleshko, Y., Drieviev, O., Drievieva, H. (2020). Method of identification bot profiles based on neural networks in recommendation systems. *Advanced Information Systems*, 4 (2), 24–28. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.2.05>
15. Kuchuk, N., Merlak, V., Skorodelov, V. (2020). A method of reducing access time to poorly structured data. *Advanced Information Systems*, 4 (1), 97–102. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.14>
16. Shyshatskyi, A., Tiurnikov, M., Suhak, S., Bondar, O., Melnyk, A., Bokhno, T., Lyashenko, A. (2020). Method of assessment of the efficiency of the communication of operational troop grouping system. *Advanced Information Systems*, 4 (1), 107–112. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.16>
17. Raskin, L., Sira, O. (2016). Method of solving fuzzy problems of mathematical programming. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (4 (83)), 23–28. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.81292>
18. Lytvyn, V., Vysotska, V., Pukach, P., Brodyak, O., Ugryn, D. (2017). Development of a method for determining the keywords in the Slavic language texts based on the technology of web mining. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (2 (86)), 14–23. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.98750>
19. Stepanenko, A., Oliinyk, A., Deineha, L., Zaiko, T. (2018). Development of the method for decomposition of superpositions of unknown pulsed signals using the second-order adaptive spectral analysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (92)), 48–54. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126578>
20. Koval, M., Sova, O., Orlov, O., Shyshatskyi, A., Artabaiev, Y., Shknaï, O. et al. (2022). Improvement of complex resource manage-

ment of special-purpose communication systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (119)), 34–44. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266009>

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.314289**  
**IDENTIFICATION OF AIR TARGETS USING**  
**A HYBRID CLUSTERING ALGORITHM (p. 89–95)**

**Oleksandr Laktionov**  
 National University

"Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Poltava, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5230-524X>

**Alina Yanko**

National University

"Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Poltava, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2876-9316>

**Nazar Pedchenko**

National University

"Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Poltava, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0018-4482>

The study addresses the task to improve the accuracy of clustering air raid danger levels by constructing a hybrid clustering algorithm.

A target air clustering algorithm has been developed, which involves using a modified distance metric and integrates air danger level assessments directly into the algorithm.

The reported features demonstrate superiority over existing algorithms based on the Silhouette and Davies-Bouldin indices. The proposed model yields a Silhouette index of 0.72306 compared to 0.3481 for the existing model, and a Davies-Bouldin index of 0.3389 compared to 1.209. Models such as Random Forest Classifier and Gradient Boosting Classifier, evaluated using the clusterizer, exhibit higher accuracy, specifically 0.87 and 0.87, respectively, compared to existing models with 0.48 and 0.49, respectively.

The distinctive feature of the clusterizer is the use of more accurate input assessments, determined by the principle of interaction and linear scaling. The proposed algorithm involves using a modified chi-square distance metric, which includes assessments of state security indices. A notable feature of the proposed approach is the more accurate determination of cluster centers using Kohonen self-organizing maps. This helps solve the task of analyzing and improving the accuracy of predicting air threat levels. The results are explained by the use of more accurate input assessments and a well-chosen distance metric between clusters in combination with Kohonen self-organizing maps.

In practice, the results could be used for analyzing air danger levels by a ground-based platform.

**Keywords:** danger clustering, linear scaling, unsupervised learning, composite indicator, artificial intelligence, air danger.

#### References

1. O'Shaughnessy, D. (2024). Trends and developments in automatic speech recognition research. *Computer Speech & Language*, 83, 101538. <https://doi.org/10.1016/j.csl.2023.101538>
2. Seo, D., Kim, S., Oh, S., Kim, S.-H. (2022). K-Means Clustering-Based Safety System in Large-Scale Industrial Site Using Industrial Wireless Sensor Networks. *Sensors*, 22 (8), 2897. <https://doi.org/10.3390/s22082897>
3. Leal Piedrahita, E. A. (2019). Hierarchical Clustering for Anomalous Traffic Conditions Detection in Power Substations. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 30 (1), 75–88. <https://doi.org/10.18359/rcin.4236>
4. Yanko, A., Koshman, S., Krasnobayev, V. (2017). Algorithms of data processing in the residual classes system. 2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications.

- Science and Technology (PIC S&T), 117–121. <https://doi.org/10.1109/infocommst.2017.8246363>
5. Onyshchenko, S., Haitan, O., Yanko A., Zdorenko, Y., Rudenko, O. (2024). Method for detection of the modified DDoS cyber attacks on a web resource of an Information and Telecommunication Network based on the use of intelligent systems. Proceedings of the Modern Data Science Technologies Workshop (MoDaST 2024), 219–235. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-3723/paper12.pdf>
  6. Krasnobayev, V., Yanko, A., Hlushko, A. (2023). Information Security of the National Economy Based on an Effective Data Control Method. Journal of International Commerce, Economics and Policy, 14 (03). <https://doi.org/10.1142/s1793993323500217>
  7. Zdorenko, Y., Lavrut, O., Lavrut, T., Nastishin, Y. (2020). Method of Power Adaptation for Signals Emitted in a Wireless Network in Terms of Neuro-Fuzzy System. Wireless Personal Communications, 115 (1), 597–609. <https://doi.org/10.1007/s11277-020-07588-5>
  8. Fachrizal, F., Zarlis, M., Sihombing, P., Suherman, S. (2024). Optimization of the LEACH algorithm in the selection of cluster heads based on residual energy in wireless sensor networks. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (9 (127)), 14–21. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298268>
  9. Szalontai, B., Debreczeny, M., Fintor, K., Bagyinka, Cs. (2020). SVD-clustering, a general image-analyzing method explained and demonstrated on model and Raman micro-spectroscopic maps. Scientific Reports, 10 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61206-9>
  10. Crețulescu, R. G., Morariu, D. I., Breazu, M., Volovici, D. (2019). DBSCAN Algorithm for Document Clustering. International Journal of Advanced Statistics and IT&C for Economics and Life Sciences, 9 (1), 58–66. <https://doi.org/10.2478/ijasitels-2019-0007>
  11. Gan, H., Yang, Z., Zhou, R. (2023). Adaptive safety-aware semi-supervised clustering. Expert Systems with Applications, 212, 118751. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118751>
  12. Powell, B. A. (2022). Role-based lateral movement detection with unsupervised learning. Intelligent Systems with Applications, 16, 200106. <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2022.200106>
  13. Pérez-Ortega, J., Nely Almanza-Ortega, N., Vega-Villalobos, A., Pazos-Rangel, R., Zavala-Díaz, C., Martínez-Rebollar, A. (2020). The K-Means Algorithm Evolution. Introduction to Data Science and Machine Learning. <https://doi.org/10.5772/intechopen.85447>
  14. Zhao, Y., Zhou, X. (2021). K-means Clustering Algorithm and Its Improvement Research. Journal of Physics: Conference Series, 1873 (1), 012074. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1873/1/012074>
  15. Zhao, H. (2022). Design and Implementation of an Improved K-Means Clustering Algorithm. Mobile Information Systems, 2022, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2022/6041484>
  16. Wiharto, W., Suryani, E. (2020). The Comparison of Clustering Algorithms K-Means and Fuzzy C-Means for Segmentation Retinal Blood Vessels. Acta Informatica Medica, 28 (1), 42. <https://doi.org/10.5455/aim.2020.28.42-47>
  17. Mohassel, P., Rosulek, M., Trieu, N. (2020). Practical Privacy-Preserving K-means Clustering. Proceedings on Privacy Enhancing Technologies, 2020 (4), 414–433. <https://doi.org/10.2478/popets-2020-0080>
  18. Hu, H., Liu, J., Zhang, X., Fang, M. (2023). An Effective and Adaptable K-means Algorithm for Big Data Cluster Analysis. Pattern Recognition, 139, 109404. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2023.109404>
  19. Chen, Y. T., Witten, D. M. (2023). Selective inference for k-means clustering. Journal of Machine Learning Research, 24 (152), 1–41. Available at: <https://jmlr.org/papers/v24/22-0371.html>
  20. Mortensen, K. O., Zardbani, F., Haque, M. A., Agustsson, S. Y., Mottin, D., Hofmann, P., Karras, P. (2023). Marigold: Efficient k-Means Clustering in High Dimensions. Proceedings of the VLDB Endowment, 16 (7), 1740–1748. <https://doi.org/10.14778/3587136.3587147>
  21. Hu, H., Li, Z., Li, X., Yu, M., Pan, X. (2021). ScCAEs: deep clustering of single-cell RNA-seq via convolutional autoencoder embedding and soft K-means. Briefings in Bioinformatics, 23 (1). <https://doi.org/10.1093/bib/bbab321>
  22. Somu, N., Raman M R, G., Ramamritham, K. (2021). A deep learning framework for building energy consumption forecast. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 137, 110591. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110591>
  23. Bisen, D., Lilhore, U. K., Manoharan, P., Dahan, F., Mzoughi, O., Hajjaj, F. et al. (2023). A Hybrid Deep Learning Model Using CNN and K-Mean Clustering for Energy Efficient Modelling in Mobile EdgeIoT. Electronics, 12 (6), 1384. <https://doi.org/10.3390/electronics12061384>
  24. Kondruk, N. (2017). Clustering method based on fuzzy binary relation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (4 (86)), 10–16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.94961>
  25. Mohammed, A. S., Balaji, B. S., Basha M. S., S. (2019). Fuzzy applied energy aware clustering based routing for iot networks. Advanced Information Systems, 3 (4), 140–145. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.4.22>
  26. Krepych, S., Spivak, I. (2021). Improvement of svd algorithm to increase the efficiency of recommendation systems. Advanced Information Systems, 5 (4), 55–59. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.4.08>
  27. Khoroshun, G., Ryazantsev, O., Cherpitskiy, M. (2023). Clustering and anomalies of USA stock market volatility index data. Advanced Information Systems, 7 (2), 9–15. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.2.02>
  28. Shefer, O., Laktionov, O., Pents, V., Hlushko, A., Kuchuk, N. (2024). Practical principles of integrating artificial intelligence into the technology of regional security predicting. Advanced Information Systems, 8 (1), 86–93. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.1.11>
  29. davies\_bouldin\_score. Scikit-learn. Available at: [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.davies\\_bouldin\\_score.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.davies_bouldin_score.html)
  30. silhouette\_score. Scikit-learn. Available at: [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.silhouette\\_score.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.silhouette_score.html)
  31. Laktionov, A. (2019). Application of index estimates for improving accuracy during selection of machine operators. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (1 (99)), 18–26. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.165884>
  32. García-Tejedor, Á. J., Nogales, A. (2022). An open-source Python library for self-organizing-maps. Software Impacts, 12, 100280. <https://doi.org/10.1016/j.simpa.2022.100280>

## АНОТАЦІЇ

## MATHEMATICS AND CYBERNETICS – APPLIED ASPECTS

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.312968

## ВПРОВАДЖЕННЯ НЕСТАНДАРТНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ СПРОЩЕННЯ ФУНКЦІЙ ПІРСА-ВЕББА (с. 6–32)

М. Т. Соломко, П. О. Тадеев, М. С. Антонюк, Ю. А. Мала, С. М. Бабич, Я. Г. Івашук

Об'єктом дослідження є моделі оптимальних логічних схем на основі універсальних функцій Пірса-Вебба. Проблема, що вирішувалася, полягає в ефективності способу спрощення функцій Пірса-Вебба. Поширення нестандартної системи на спрощення функцій Пірса-Вебба дає змогу виявляти нові правила рівносильних перетворень булевих функцій, процедуру спрощення завершувати за один крок. Особливість спрощення функцій у базисі Пірса-Вебба нестандартною системою полягає у фіксації цифрового проекту на рівні абстракції, з наступним застосуванням механізму логічного синтезу для генерації відповідного еквіваленту на рівні вентилів логічної схеми. Результатом перетворення термів бінарної матриці у підсумку є деяка комбінаторна система, метадані, що можуть пояснювати інші дані, наприклад, визначати мінімальну функцію для іншого логічного базису.

Інтерпретація результату полягає у використанні комбінаторних властивостей бінарних структур функцій у базисі Пірса-Вебба та бінарних структур функцій основного базису. Ці властивості не залежать від обраного логічного базису, що дає змогу проводити рівносильні перетворення на бінарних матрицях функцій Пірса-Вебба за правилами алгебри основного базису.

Експериментально підтверджено, що нестандартна система дає змогу:

- зменшити алгоритмічну складність спрощення функцій Пірса-Вебба;
- збільшити продуктивність спрощення функцій Пірса-Вебба на 200–300 %;
- демонструвати наочність процесу спрощення функцій.

У прикладному відношенні нестандартна система спрощення функцій Пірса-Вебба забезпечить трансферт нововведень у матеріальне виробництво: від проведення фундаментальних досліджень, розширення можливостей технології проектування цифрових компонентів до організації серійного чи масового виробництва новинок.

**Ключові слова:** спрощення ДНФ, функція Пірса-Вебба, базис Пірса-Вебба, нестандартна система, логічна схема, вентиля I-НЕ, АБО-НЕ.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.312971

## РОЗРОБКА АНАЛІТИЧНОГО МЕТОДУ РОЗВ'ЯЗАННЯ РІВНЯНЬ КОЛМОГОРОВА ВОСЬМОГО ПОРЯДКУ ДЛЯ АСИМЕТРИЧНОГО ЛАНЦЮГА МАРКОВА (с. 33–41)

В. В. Кравець, М. І. Капіца, І. В. Доманський, Вл. В. Кравець, Т. С. Гришечкіна, С. О. Закурдай

Об'єктом дослідження є комплексна система трьох підсистем, які функціонують незалежно одна від другої та перебувають в працездатному або відмовному стані. Виникає необхідність аналітично моделювати та керувати марковським випадковим процесом у системі, варіюючи інтенсивність їх потоків розвитку-відновлення та деградації-руйнування. У дослідженні розроблено аналітичний метод розв'язання рівнянь Колмогорова восьмого порядку для асиметричного ланцюга Маркова.

Відповідні рівняння Колмогорова восьмого порядку мають упорядковану матрицю перехідних ймовірностей. Розподіл восьми коренів цього рівняння в комплексній площині має центральну симетрію.

Результатами є аналітичні рішення для ймовірностей восьми станів ланцюга Маркова в часі у формі упорядкованих визначників відносно індексів восьми коренів та індексів восьми станів, включаючи вектор-стовпець початкових умов.

Встановлена симетрія в розподілі на комплексній площині восьми дійсних, від'ємних коренів характеристичного рівняння Колмогорова з центром у точці, визначеній як:  $\text{Re } \vartheta = -a_7/8$ , де  $a_7$  – коефіцієнт характеристичного рівняння восьмого ступеня при сьомому ступені. Евристично знайдено формули, що виражають вісім коренів характеристичного рівняння Колмогорова, один із яких є нульовим, через інтенсивності відмов і відновлень трьох підсистем, вісім станів яких загалом складають асиметричний ланцюг Маркова.

Для структур, що складаються з трьох незалежно функціонуючих процесів, визначається у часі випадковий процес переходу структури через вісім можливих станів за відомого початкового стану. Запропоновано в гармонійній формі аналітичне розв'язання диференціальних рівнянь Колмогорова восьмого порядку для асиметричного графа станів з метою аналізу та синтезу випадкового процесу марковського в triple system.

**Ключові слова:** граф станів, ймовірності станів, моделювання випадкових процесів, розподіл коренів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.312217

## РОЗРОБКА МЕТОДУ КОМПЛЕКСНОГО ФОРМУВАННЯ ВИБІРКИ І ВИБОРУ МОДЕЛІ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ (с. 42–51)

О. М. Перегуда, А. В. Родіонов, Д. Л. Федорчук, С. В. Журавський, М. Г. Конвісар, Т. В. Волинець, В. В. Дацик, М. А. Закалад, С. А. Цибуля, Т. В. Триснюк

Об'єктом дослідження є процес формування навчальної вибірки для діагностування технічного стану безпілотного літального апарату (БпЛА) з використанням алгоритмів машинного навчання. Польоти БпЛА є вкрай важливими для різних аспектів застосування військ (сил). Бойові польоти БпЛА виконуються в умовах впливу негативних факторів, які спричиняють особливі випадки у польоті (ОВП), які перешкоджають виконанню бойових завдань, призводять до їх зривів, до випадків пошкодження літальних апаратів або їх втрати. Наявних можливостей автопілоту недостатньо для здійснення керування в складних умовах. В певних ситуаціях людина-оператор не може своєчасно розпізнати ОВП чи оцінити деструктивний вплив засобів радіоелектронної боротьби противника на інформаційні канали та роботу свого БпЛА. Відтак, актуальним питанням є інтелектуалізація бортових систем управління,

зокрема в напрямку розпізнавання поточного технічного стану БпЛА з використанням методів штучного інтелекту. Для розроблення таких систем необхідні розмічені вибірки. Порядок формування вибірок з урахуванням особливостей побудови БпЛА та їх бойового застосування в умовах протидії не визначений, тому відповідний метод підлягає розробленню.

На основі відомої методології CRISP-DM розроблено метод формування вибірки для подальшого застосування в системах з елементами штучного інтелекту, які використовують різні методи машинного навчання.

Метод відрізняється від відомих урахуванням специфіки виконання бойових завдань в умовах протидії противника, що дозволило підвищити точність розпізнавання ОБП БпЛА бортовою системою в середньому на 8,0 %, в тому числі надало можливість своєчасно виявляти факт впливу засобів радіоелектронної боротьби на БпЛА і оцінювати ефективність радіоподавлення його приймачів радіосигналів.

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат, навчальна вибірка, машинне навчання, оцінювання ефективності радіоподавлення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313333

### ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ДАНИХ ПРО РОБОТУ З ВІДЕОМАТЕРІАЛАМИ НА ТОЧНІСТЬ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗУВАННЯ УСПІШНОСТІ СТУДЕНТІВ (с. 52–62)

В. І. Пилипенко, В. В. Стаценко, Т. Я. Біла, Д. В. Стаценко

Об'єктом дослідження є моделі прогнозування успішності студентів, що створені на основі методів машинного навчання. У статті представлені результати дослідження проблеми підвищення їх точності за рахунок розширення набору даних для навчання зазначених моделей. Найбільш доступними є дані про дії студентів, які автоматично збирають системи управління навчанням. Введення додаткової інформації про роботу студентів збільшує витрати часу та ресурсів, але дозволяє підвищити точність моделей. У дослідженні у вихідний набір даних введено інформацію про роботу студентів з відеоматеріалами, зокрема, кількість та тривалість переглядів. Для автоматизації збору цих даних розроблено плагін для системи Moodle, який зберігає в базі даних інформацію про дії користувача з відеопрогравачем та фактичну тривалість переглядів відеоматеріалів. Тренування моделей здійснювалось за алгоритмами наївного Байєса (NB), логістичної регресії (LR), випадкового лісу (RF) та нейронних мереж (NN) з даними про роботу з відеоматеріалами та без них. Для моделей, що використовували дані про перегляд відеоматеріалів, приріст точності склав 10 %, збалансованої точності – 15 %, а загальна ефективність, виражена площею під кривою (AUC), збільшилась на 14 %. Найвищу точність прогнозування з різницею в 1,8 % отримали моделі побудовані за алгоритмами RF – 87,1 % та NN – 85,3 %. Тоді як точність моделей отриманих за алгоритмами NB та LR склала 70,7 % та 76,5 %. Приріст точності для них склав 2,3 % та 8,1 % відповідно. Аналіз розрахунків підтверджує припущення про те, що робота студентів з навчальними відеоматеріалами корелюється з їх успішністю. Отримані результати дозволяють на етапі підготовки даних для навчання моделей знайти обґрунтований компроміс між витратами на розробку моделей та її точністю.

**Ключові слова:** прогнозування успішності, випадковий ліс, логістична регресія, нейронні мережі, наївний Байєс.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.312884

### ВИЯВЛЕННЯ ТІСНОТИ ПУБЛІКАЦІЙНОГО ЗВ'ЯЗКУ В НАУКОВІЙ СПІВПРАЦІ З ВРАХУВАННЯМ НАУКОВОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ НА ОСНОВІ TIME-WEIGHTED PAGERANK METHOD WITH CITATION INTENSITY (с. 63–70)

А. О. Білощичкий, О. Ю. Кучанський, Ю. В. Андрашко, Aidos Mukhatayev, Sapar Toxanov, Adil Faizullin, Н. В. Юрченко

Об'єктом дослідження є процеси, які пов'язані з оцінюванням тісноти публікаційного зв'язку науковців та врахування їх продуктивності наукової діяльності. Досліджується задача встановлення наявності залежності між науковою продуктивністю та оцінкою тісноти публікаційного зв'язку між науковцями. Це необхідно для підвищення ефективності управління науково-дослідними проектами. Для цього було описано методи розрахунку оцінок наукової продуктивності науковців PR, TWPR, TWPR-CI. Зокрема метод TWPR-CI надає перевагу оцінці тим науковцям, які більш інтенсивно публікувались і цитувались протягом останнього періоду часу, що важливо для формування складу виконавців науково-дослідних проектів. Також було описано метод розрахунку оцінки тісноти публікаційного зв'язку між науковцями або average asymmetric tie strength. Проведена верифікація залежності між оцінкою тісноти публікаційного зв'язку науковців та їх науковою продуктивністю на основі аналізу мережі цитування наукових публікацій та мережі наукової співпраці. Мережі побудовані на основі датасету Citation Network Dataset (ver. 14) з відкритим доступом. Датасет містить інформацію про більш, ніж 5 мільйонів наукових публікацій та більше 36 мільйонів цитувань на них. Проведений кореляційний аналіз показав наявність слабкої оберненої залежності між даними оцінками. Проте слабкість зв'язку дозволяє стверджувати, що для даного випадку немає встановленої кореляційної залежності між оцінкою наукової продуктивності та оцінкою тісноти публікаційного зв'язку. Тобто гіпотеза про те, що слабка тіснота зв'язку між науковцями дозволяє підвищити продуктивність та інноваційність їх публікацій, не підтверджується. Отримані результати дозволяють системно підійти до процесу оцінювання та планування результатів науково-дослідних проектів, а також формування складу їх виконавців.

**Ключові слова:** наукова продуктивність, тіснота публікаційного зв'язку, наукова співпраця, PageRank, науково-дослідний проект.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313099

### ОЦІНЮВАННЯ МЕТОДІВ ПРОТОТИПУВАННЯ ІНТЕРАКТИВНИХ ВІРТУАЛЬНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОГО ВІДНОШЕННЯ ПЕРЕВАГИ (с. 71–81)

А. В. Кудряшова, І. В. Піх, В. М. Сеньківський, Ю. Ю. Меренич

Об'єктом дослідження є процес визначення оптимального методу створення прототипів інтерактивних віртуальних систем за принципом багаторитеріальної оптимізації. Розглянуто вирішення проблеми розроблення засобів оцінювання методів прототипування та створено програмний продукт для визначення найкращого варіанту за пріоритетними критеріями. Оптимальний метод прототипування обраний на основі максимального значення функції належності з показниками 0,3; 0,7; 1. Таким чином найкращим для поставленої задачі є метод швидкого прототипування, для якого значення функції належності дорівнює 1. Зазначені результати

дозволили вирішити проблему завдяки оцінюванню нечітких відношень переваги на множині альтернатив. Крім того, побудовано згортку відношень, на основі якої знайдено підмножину невідомованих альтернатив. Особливостями запропонованого методу є отримання чітких кількісних параметрів оцінювання на основі опрацювання описових, неуніфікованих та неформалізованих вхідних даних. Сформовані нечіткі відношення переваги множини альтернатив пояснюються проведенням аналізом найпоширеніших методів прототипування інтерактивних систем.

Розроблена інформаційна система може бути використана для прийняття управлінських рішень щодо вибору оптимального варіанту прототипування серед кількох можливих шляхом порівняння методів за визначеними критеріями з довільними ваговими коефіцієнтами. Тобто, результатом дослідження є розроблена універсальна система, адаптована під конкретні задачі користувачів. Отримані дані сприятимуть підвищенню ефективності прототипування та, відповідно, зменшенню витрат.

**Ключові слова:** інтерактивна система, комп'ютерна гра, метод багатокритеріальної оптимізації, нечітке відношення переваги.

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.311235

### МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД З ОЦІНКИ СТАНУ ІЕРАРХІЧНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТАЕВРИСТИЧНОГО АЛГОРИТМУ (с. 82–88)

А. В. Шишацький, С. О. Кашкевич, І. Г. Кириченко, О. А. Хахлок, В. О. Кубрак, А. О. Коваль, О. А. Коваль, Н. М. Протас, В. В. Стригун, Є. І. Кузьмінов

Об'єктом дослідження є ієрархічні системи. Предметом дослідження є процес оцінки стану ієрархічних систем за допомогою удосконаленого алгоритму мурашиних левів (АМЛ), удосконаленого генетичного алгоритму та штучних нейронних мереж, що еволюціонують. Проблема, яка вирішується в дослідженні, є підвищення оперативності оцінки стану ієрархічних систем, незалежно від рівня ієрархічності системи. Оригінальність дослідження полягає в тому, що:

- початкове положення АМЛ здійснюється з урахуванням типу невизначеності за рахунок використання відповідних корегувальних коефіцієнтів на ступінь інформованості про розміщення мурашників (пріоритетні напрямки пошуку);
- враховується початкова швидкість кожного АМЛ, що дозволяє визначити пріоритетність пошуку кожним АМЛ у визначеному напрямку пошуку;
- визначається придатність місць полювання АМЛ, чим зменшується час оцінювання стану ієрархічної системи;
- використання процедури глобального перезапуску алгоритму, чим досягається здатність алгоритму виходити за межі поточного оптимуму та покращити дослідницьку здатність алгоритму, чим досягається скорочення часу на оцінку стану ієрархічних систем;
- можливість уточнення на етапі полювання вибору мурашника за рахунок ранжування мурашників за рівнем феромону мурах;
- покращена можливість відбору кращих АМЛ у порівнянні з випадковим відбором за рахунок використання удосконаленого генетичного алгоритму, що дозволяє покращити достовірність оцінки стану складних ієрархічних систем.

Запропонований методичний підхід забезпечує підвищення ефективності оперативності оцінки стану ієрархічних систем на рівні 22–25 % за рахунок використання додаткових удосконалених процедур. Запропонований методичний підхід доцільно використовувати для вирішення завдань оцінки стану складних ієрархічних систем в умовах невизначеності та ризиків, що характеризуються високим ступенем складності.

**Ключові слова:** складні ієрархічні системи, генетичний алгоритм, штучні нейронні мережі, ройові алгоритми.

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.314289

### ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ГІБРИДНОГО АЛГОРИТМУ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ (с. 89–95)

О. І. Лактіонов, А. С. Янко, Н. М. Педченко

Досліджується процес створення кластеризатора рівня безпеки повітряної тривоги.

У дослідженні вирішується проблема підвищення точності кластеризації оцінок рівня безпеки повітряної тривоги за рахунок створення гібридного алгоритму кластеризатора.

Побудовано кластеризатор повітряних цілей, що передбачає використання модифікованої метрики визначення відстані та об'єднує оцінки рівня повітряної безпеки прямо у алгоритмі.

Вказані особливості демонструють перевагу над існуючими алгоритмами за критеріями індексів силуету та Девіса-Болдіна. Запропонована модель демонструє індекс силуету 0,72306, а існуюча – 0,3481, а індекс Девіса-Болдіна становить 0,3389; 1,209 відповідно.

Моделі Random Forest Classifier, Gradient Boosting Classifier на оцінках визначених кластеризатором характеризуються більшою точністю, зокрема 0,87; 0,87 відповідно, а існуючих 0,48; 0,49 відповідно.

Особливістю кластеризатора є використання точніших оцінок, що подаються на вхід, які визначаються за принципом взаємодії та лінійного масштабування. Запропонований алгоритм передбачає використання модифікованої метрики  $\chi^2$ -квадрат, що включає оцінки індексів безпеки держави. Відмінною рисою запропонованого підходу є використання точніше визначення центів кластерів методом самоорганізаційних карт Кохрена.

Це дозволяє вирішити проблему аналізу й підвищення точності прогнозування рівня повітряних загроз. Отримані результати пояснюються використанням точніших вхідних оцінок й вдало підібраній метриці визначення відстані між кластерами у поєднанні з картами самоорганізації Кохрена.

На практиці отримані результати можуть бути використані при аналізі рівня повітряної безпеки наземною платформою.

**Ключові слова:** кластеризація безпеки, лінійне масштабування, навчання без вчителя, комплексний показник, штучний інтелект, повітряна безпека.