

ABSTRACT AND REFERENCES

MATHEMATICS AND CYBERNETICS – APPLIED ASPECTS

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.288178
CONSTRUCTION OF A MODEL OF
STEGANOGRAPHIC EMBEDDING OF THE UAV
IDENTIFIER INTO ADS-B DATA (p. 6–16)

Serhii Semenov

University of the National Education Commission, Krakow, Poland
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4472-9234>

Minjian Zhang

Zhejiang Nova Intelligent Technology Co., Ltd, Zhejiang, China
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5651-8149>

Oleksandr Mozhaiev

Kharkiv National University of Internal Affairs, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1412-2696>

Nina Kuchuk

National Technical University
 «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0784-1465>

Serhii Tiulieniev

National Scientific Center «Hon. Prof. M. S. Bokarius
 Forensic Science Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9685-1536>

Yurii Gnusov

Kharkiv National University of Internal Affairs, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9017-9635>

Mykhailo Mozhaiev

Scientific Research Center for Forensic Science of Information
 Technologies and Intellectual Property, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1566-9260>

Volodymyr Strukov

Kharkiv National University of Internal Affairs, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4722-3159>

Yurii Onishchenko

Kharkiv National University of Internal Affairs, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7755-3071>

Heorhii Kuchuk

National Technical University
 «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2862-438X>

Secure data exchange in the control system of unmanned aerial vehicles (UAVs) is an important aspect for preventing unauthorized access and safety of aerial vehicles. Given the problems of automatic dependent surveillance-broadcast (ADS-B) data protection, the safety level of UAV flight tasks and air traffic in general is significantly reduced. Therefore, the protection of ADS-B data is an urgent task. The object of the study is the process of steganographic protection of ADS-B format data. A relevant problem of estimating the probabilistic time characteristics of the steganographic protection process is solved, taking into account the features of data embedding in the ADS-B format container. To solve it, a mathematical formalization of the methods of finding probabilistic-temporal characteristics of steganographic systems was carried out. A model of steganographic data transformation operations based on the Chinese remainder theorem has been built. The main difference of the model is taking into account the features of the ADS-B format data. This made it possible to formalize and evaluate the time functions of steganographic encoding and decoding of UAV identifiers with an

integrated ADS-B system. A model of steganographic data transformation operations based on the finite integral ring theorem has been constructed. A list of operations performed in the developed algorithm has been compiled. This made it possible to carry out mathematical formalization of operations for complex use in the model of steganographic protection of UAV identifiers with a built-in ADS-B system. The mathematical model was studied and the estimation of the random value of the time of steganographic transformation of data, as well as the confidence interval, was performed. With the help of the reported set of models, it is possible to estimate the probability of the algorithm's execution time falling within the given interval. The results of the calculation of probabilistic-time characteristics could be used in models of a higher level of the hierarchy.

Keywords: unmanned aerial vehicles, ADS-B system, information security, steganographic data protection, GERT network.

References

1. Wu, Z., Shang, T., Guo, A. (2020). Security Issues in Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B): A Survey. *IEEE Access*, 8, 122147–122167. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2020.3007182>
2. Perkaus, J. (2020). ADS-B Cyber Security alert. Available at: <https://www.perkausandfarley.com/wp-content/uploads/2022/01/ADSBCyberSecurity.pdf>
3. Alghamdi, F., Alshhrani, A., Hamza, N. (2018). Effective Security Techniques for Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B). *International Journal of Computer Applications*, 180 (26), 23–28. doi: <https://doi.org/10.5120/ijca2018916598>
4. Habibi Markani, J., Amrhar, A., Gagné, J.-M., Landry, R. J. (2023). Security Establishment in ADS-B by Format-Preserving Encryption and Blockchain Schemes. *Applied Sciences*, 13 (5), 3105. doi: <https://doi.org/10.3390/app13053105>
5. Semenov, S., Zhang, M. J. (2022). Comparative studies of methods for improving the cyber security of unmanned aerial vehicles with the built-in ADS-B system. *Advanced Information Systems*, 6 (4), 69–73. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2022.4.10>
6. Desai, L., Mali, S. (2018). Crypto-Stego-Real-Time (CSRT) System for Secure Reversible Data Hiding. *VLSI Design*, 2018, 1–8. doi: <https://doi.org/10.1155/2018/4804729>
7. Shahadi, H. I., Kod, M. S., Qasem, B., Farhan, H. R. (2021). Real-Time Scheme for Covert Communication Based VoIP. *Journal of Physics: Conference Series*, 1997 (1), 012020. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1997/1/012020>
8. Kuznetsov, A., Onikiychuk, A., Peshkova, O., Gancarczyk, T., Warsaw, K., Ziubina, R. (2022). Direct Spread Spectrum Technology for Data Hiding in Audio. *Sensors*, 22 (9), 3115. doi: <https://doi.org/10.3390/s22093115>
9. Kharchenko, V., Kliushnikov, I., Rucinski, A., Fesenko, H., Illiashenko, O. (2022). UAV Fleet as a Dependable Service for Smart Cities: Model-Based Assessment and Application. *Smart Cities*, 5 (3), 1151–1178. doi: <https://doi.org/10.3390/smartcities5030058>
10. Semenov, S., Zhang, M., Yenhalychev, S., Smidovych, L. (2022). Generalized model of the ADS-B unmanned aerial vehicle data transmission process in a steganographic system. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 4 (22), 14–19. doi: <https://doi.org/10.30837/itssi.2022.22.014>
11. Li, J., Chen, J. (2006). The Number Theoretical Method in Response Analysis of Nonlinear Stochastic Structures. *Computational Mechanics*, 39 (6), 693–708. doi: <https://doi.org/10.1007/s00466-006-0054-9>
12. Baake, M., Bustos, Á., Huck, C., Lemańczyk, M., Nickel, A. (2020). Number-theoretic positive entropy shifts with small centralizer and

- large normalizer. *Ergodic Theory and Dynamical Systems*, 41 (11), 3201–3226. doi: <https://doi.org/10.1017/etds.2020.111>
13. Alhassan, E. A., Tian, K., Abban, O. J., Ohiami, I. E., Michael Adjabui, M., Armah, G., Agyemang, S. (2021). On Some Algebraic Properties of the Chinese Remainder Theorem with Applications to Real Life. *Journal of Applied Mathematics and Computation*, 5 (3), 219–224. doi: <https://doi.org/10.26855/jamc.2021.09.008>
14. Selianinau, M. (2020). An efficient implementation of the Chinese Remainder Theorem in minimally redundant Residue Number System. *Computer Science*, 21 (2). doi: <https://doi.org/10.7494/csci.2020.21.2.3616>
15. Chatterjee, R., Bharti, S. (2018). Finding the ring of integers and its algorithms in algebraic number theory. *International Journal of Engineering, Science and Mathematics*, 7 (4 (1)), 41–44. Available at: https://www.ijesm.co.in/uploads/68/5367_pdf.pdf
16. Kuchuk, N., Mozhaiev, O., Mozhaiev, M., Kuchuk, H. (2017). Method for calculating of R-learning traffic peakedness. 2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. *Science and Technology (PIC S&T)*. doi: <https://doi.org/10.1109/infocommst.2017.8246416>
17. Kovalenko, A., Kuchuk, H., Kuchuk, N., Kostolny, J. (2021). Horizontal scaling method for a hyperconverged network. 2021 International Conference on Information and Digital Technologies (IDT). doi: <https://doi.org/10.1109/idt52577.2021.9497534>
18. Semenov, S., Davydov, V., Voloshyn, D. (2019). Obfuscated Code Quality Measurement. 2019 XXIX International Scientific Symposium «Metrology and Metrology Assurance» (MMA). doi: <https://doi.org/10.1109/mma.2019.8936022>
19. Mozhaev, O., Kuchuk, H., Kuchuk, N., Mozhaev, M., Lohvynenko, M. (2017). Multiservice network security metric. 2017 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT). doi: <https://doi.org/10.1109/aiact.2017.8020083>
20. Semenov, S., Zhang, L., Cao, W., Bulba, S., Babenko, V., Davydov, V. (2021). Development of a fuzzy GERT-model for investigating common software vulnerabilities. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (2 (114)), 6–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.243715>
21. Zhang, N., Ou, M., Liu, B., Liu, J. (2023). A GERT Network Model for input-output optimization of general aviation industry chain based on value flow. *Computers & Industrial Engineering*, 176, 108945. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108945>
22. Kuchuk, N., Mozhaiev, O., Semenov, S., Haichenko, A., Kuchuk, H., Tiulieniev, S. et al. (2023). Devising a method for balancing the load on a territorially distributed foggy environment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (4 (121)), 48–55. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.274177>
23. Kuznetsov, A., Smirnov, O., Zhora, V., Onikiychuk, A., Pieshkova, O. (2021). Hiding Messages in Audio Files Using Direct Spread Spectrum. 2021 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS). doi: <https://doi.org/10.1109/idaacs53288.2021.9660879>
24. Mammadov, F. K. (2023). New approach to book cipher: web pages as a cryptographic key. *Advanced Information Systems*, 7 (1), 59–65. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.1.10>
25. Aleksandrov, E., Aleksandrova, T., Kostianyk, I., Morgun, Y. (2023). Simulation of random external disturbance acting on the car body in the urgent braking mode. *Advanced Information Systems*, 7 (1), 14–17. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.1.02>
26. Chioecchio, S., Persia, A., Santucci, F., Graziosi, F., Pratesi, M., Faccio, M. (2020). Modeling and evaluation of enhanced reception techniques for ADS-B signals in high interference environments. *Physical Communication*, 42, 101171. doi: <https://doi.org/10.1016/j.phycom.2020.101171>
27. Afanasyev, I., Sytnikov, V., Strelsov, O., Stupen, P. (2022). The Applying of Low Order Frequency-Dependent Components in Signal Processing of Autonomous Mobile Robotic Platforms. *Intelligent Computing*, 882–891. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-10464-0_61

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.287003
DEVELOPMENT OF A SOLUTION SEARCH METHOD USING AN IMPROVED MONKEY ALGORITHM (p. 17–24)

Andrii Shyshatskyi

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6731-6390>

Olena Nechyporuk

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8203-7998>

Nina Kuchuk

National Technical University

«Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0784-1465>

Iraida Stanovska

Odessa Polytechnic National University, Odessa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5884-4228>

Oleksii Nalapko

Central Scientifically-Research Institute of Armaments and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3515-2026>

Oleh Shknaï

Scientific-Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5572-4917>

Nadiia Protas

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0943-0587>

Serhii Shostak

National University of Life

and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1234-1024>

Anzhela Binkovska

Kharkiv National Automobile

and Highway University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9788-4321>

Petro Shapoval

Central Scientifically-Research Institute of Armaments and

Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8892-0228>

The object of the research is decision support systems. The subject of the research is the decision-making process in management problems using the monkey algorithm and evolving artificial neural networks.

A solution search method using an improved monkey algorithm is proposed. The research is based on the monkey algorithm – for finding a solution regarding the state of an object. For training monkey agents (MA), evolving artificial neural networks are used. The method has the following sequence of steps:

- input of initial data;
- processing of initial data taking into account the degree of uncertainty;
- a search vector is generated for each MA, taking into account the degree of uncertainty;
- determination of the initial speed of MA movement;

- calculation of the fitness function of the MA solution;
- calculation of the height of MA movement;
- verification of fulfillment of local jump conditions;
- generation of local search plane coordinates;
- calculation of the fitness function of the MA solution;
- generation of global search plane coordinates;
- search distribution among the MA flock;
- changing the speed of MA movement;
- checking the permissible value of the obtained solution regarding the object state;
- training of MA knowledge bases.

The originality of the proposed method lies in the arrangement of MA taking into account the uncertainty of the initial data, improved procedures of global and local search taking into account the degree of noise of data about the state of the analysis object. A feature of the proposed method is the use of an improved MA training procedure. The training procedure consists in learning the parameters and architecture of individual elements and the architecture of the artificial neural network as a whole. The method makes it possible to increase the efficiency of data processing at the level of 23–28 % due to the use of additional improved procedures.

Keywords: swarm intelligence, decision support systems, hierarchical systems, monkey algorithm.

References

1. Bashkyrov, O. M., Kostyna, O. M., Shyshatskyi, A. V. (2015). Rozvytok intehrovanykh system zviazku ta peredachi danykh dlia potreb Zbroinykh Syl. *Ozbroiennia ta viyskova tekhnika*, 1, 35–39. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt_2015_1_7
2. Dudnyk, V., Sinenko, Y., Matsyk, M., Demchenko, Y., Zhyvotovskiy, R., Repilo, I. et al. (2020). Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (105)), 37–47. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
3. Sova, O., Shyshatskyi, A., Salnikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., Hrokholskyi, Y. (2021). Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 30–40. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>
4. Pievtsov, H., Turinskyi, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., Shyshatskyi, A. (2020). Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 78–89. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>
5. Zuiiev, P., Zhyvotovskiy, R., Zvieriev, O., Hatsenko, S., Kuprii, V., Nakonechnyi, O. et al. (2020). Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (106)), 14–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>
6. 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/ijatse/2020/206942020>
7. Yeromina, N., Kurban, V., Mykus, S., Peredrii, O., Voloshchenko, O., Kosenko, V. et al. (2021). The Creation of the Database for Mobile Robots Navigation under the Conditions of Flexible Change of Flight Assignment. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 11 (5), 37–44. doi: https://doi.org/10.46338/ijatse0521_05
8. Rotshcheyn, A. P. (1999). *Intellectual'nye tekhnologii identifikatsii: nechetkie mnozhestva, geneticheskie algoritmy, neyronnye seti*. Vinnytsa: «UNIVERSUM», 320.
9. Alpeeva, E. A., Volkova, I. I. (2019). The use of fuzzy cognitive maps in the development of an experimental model of automation of production accounting of material flows. *Russian Journal of Industrial Economics*, 12 (1), 97–106. doi: <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2019-1-97-106>
10. Zagranovskaya, A. V., Eissner, Y. N. (2017). Simulation scenarios of the economic situation based on fuzzy cognitive maps. *Modern economics: problems and solutions*, 10, 33–47. doi: <https://doi.org/10.17308/meps.2017.10/1754>
11. Simankov, V. S., Putyato, M. M. (2013). Issledovanie metodov kognitivnogo analiza. *Sistemnyy analiz, upravlenie i obrabotka informatsii*, 13, 31–35.
12. Ko, Y.-C., Fujita, H. (2019). An evidential analytics for buried information in big data samples: Case study of semiconductor manufacturing. *Information Sciences*, 486, 190–203. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.079>
13. Ramaji, I. J., Memari, A. M. (2018). Interpretation of structural analytical models from the coordination view in building information models. *Automation in Construction*, 90, 117–133. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025>
14. Pérez-González, C. J., Colebrook, M., Roda-García, J. L., Rosa-Remedios, C. B. (2019). Developing a data analytics platform to support decision making in emergency and security management. *Expert Systems with Applications*, 120, 167–184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023>
15. Chen, H. (2018). Evaluation of Personalized Service Level for Library Information Management Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Procedia Computer Science*, 131, 952–958. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.233>
16. Chan, H. K., Sun, X., Chung, S.-H. (2019). When should fuzzy analytic hierarchy process be used instead of analytic hierarchy process? *Decision Support Systems*, 125, 113114. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113114>
17. Osman, A. M. S. (2019). A novel big data analytics framework for smart cities. *Future Generation Computer Systems*, 91, 620–633. doi: <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.046>
18. Gödri, I., Kardos, C., Pfeiffer, A., Vánca, J. (2019). Data analytics-based decision support workflow for high-mix low-volume production systems. *CIRP Annals*, 68 (1), 471–474. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.001>
19. Harding, J. L. (2013). Data quality in the integration and analysis of data from multiple sources: some research challenges. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-2/W1, 59–63. doi: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-2-w1-59-2013>
20. Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24 (1), 65–75. doi: [https://doi.org/10.1016/s0020-7373\(86\)80040-2](https://doi.org/10.1016/s0020-7373(86)80040-2)
21. Gorelova, G. V. (2013). Kognitivniy podkhod k imitatsionnomu modelirovaniyu slozhnykh sistem. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki*, 3, 239–250.
22. Koval, M., Sova, O., 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268621>
23. Yi, T.-H., Li, H.-N., Song, G., Zhang, X.-D. (2014). Optimal sensor placement for health monitoring of high-rise structure using adaptive monkey algorithm. *Structural Control and Health Monitoring*, 22 (4), 667–681. doi: <https://doi.org/10.1002/stc.1708>
24. Koshlan, A., Salnikova, O., Chekhovska, M., Zhyvotovskiy, R., Prokopenko, Y., Hurskyi, T. et al. (2019). Development of an algorithm for complex processing of geospatial data in the special-purpose geoinformation system in conditions of diversity and

- uncertainty of data. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (101)), 35–45. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.180197>
25. Mahdi, Q. A., Shyshatskyi, A., Prokopenko, Y., Ivakhnenko, T., Kupriyenko, D., Golian, V. et al. (2021). Development of estimation and forecasting method in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (111)), 51–62. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.232718>
 26. Emel'yanov, V. V., Kureychik, V. V., Kureychik, V. M., Emel'yanov, V. V. (2003). *Teoriya i praktika evolyutsionnogo modelirovaniya*. Moscow: Fizmatlit, 432.
 27. Gorokhovatsky, V., Stiahlyk, N., Tsarevska, V. (2021). Combination method of accelerated metric data search in image classification problems. *Advanced Information Systems*, 5 (3), 5–12. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.3.01>
 28. Levashenko, V., Liashenko, O., Kuchuk, H. (2020). Building Decision Support Systems based on Fuzzy Data. *Advanced Information Systems*, 4 (4), 48–56. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.4.07>
 29. Meleshko, Y., Drieiev, O., Drieieva, H. (2020). Method of identification bot profiles based on neural networks in recommendation systems. *Advanced Information Systems*, 4 (2), 24–28. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.2.05>
 30. Kuchuk, N., Merlak, V., Skorodelov, V. (2020). A method of reducing access time to poorly structured data. *Advanced Information Systems*, 4 (1), 97–102. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.14>
 31. 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. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.16>
 32. Raskin, L., Sira, O. (2016). Method of solving fuzzy problems of mathematical programming. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (4 (83)), 23–28. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.81292>
 33. Lytvyn, V., Vysotska, V., Pukach, P., Brodyak, O., Ugryn, D. (2017). Development of a method for determining the keywords in the slavic language texts based on the technology of web mining. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (2 (86)), 14–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.98750>
 34. Stepanenko, A., Oliinyk, A., Deineha, L., Zaiko, T. (2018). Development of the method for decomposition of superpositions of unknown pulsed signals using the second-order adaptive spectral analysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (92)), 48–54. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126578>
 35. Gorbenko, I., Ponomar, V. (2017). Examining a possibility to use and the benefits of post-quantum algorithms dependent on the conditions of their application. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (86)), 21–32. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96321>
 36. Koval, M., Sova, O., Orlov, O., Shyshatskyi, A., Artabaiev, Y., Shknai, O. et al. (2022). Improvement of complex resource management of special-purpose communication systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (119)), 34–44. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266009>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.287316
DEVELOPMENT OF A SOLUTION SEARCH
METHOD USING AN IMPROVED LOCUST SWARM
ALGORITHM (p. 25–33)

Vitalii Tyurin

The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0476-7471>

Robert Bieliakov

Military Institute of Telecommunications and Information Technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9882-3088>

Elena Odarushchenko

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2293-2576>

Volodymyr Yashchenok

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7806-8078>

Olena Shaposhnikova

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0405-8205>

Anna Lyashenko

Military Institute of Telecommunications and Information Technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5318-8663>

Oleksandr Stanovskiy

Odessa Polytechnic National University, Odessa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0360-1173>

Borys Melnyk

Central Scientifically-Research Institute of Armaments and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5635-0099>

Sviatoslav Sus

Central Scientifically-Research Institute of Armaments and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5909-0328>

Mykola Dvorskiy

Scientific-Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7638-5611>

The object of the research is decision support systems. The subject of the research is the decision-making process in management problems using the locust swarm algorithm and evolving artificial neural networks.

A solution search method using an improved locust swarm algorithm is proposed. The research is based on the locust swarm algorithm for finding a solution regarding the state of an object. For training locust agents (LA), evolving artificial neural networks are used. The method has the following sequence of steps:

- input of initial data;
- processing of initial data taking into account the degree of uncertainty;
- initial setting of LA in the search area;
- determination of the initial speed of the LA movement;
- a search vector is generated taking into account the degree of uncertainty;
- calculation of the change in the value of the LA fitness function;
- training of LA knowledge bases.

The originality of the proposed method lies in the arrangement of LA taking into account the uncertainty of the initial data, improved procedures of global and local search taking into account the degree of noise of data about the state of the analysis object. Also, the originality of the research is avoiding the concentration of LA on the current best positions, reducing the probability of premature convergence of the algorithm and maintaining a balance between the convergence rate of the algorithm and diversification. The peculiarity of the proposed method is the use of an improved procedure for LA training. The training procedure consists in learning the parameters

and architecture of individual elements and the architecture of the artificial neural network as a whole.

Keywords: swarm intelligence, decision support systems, hierarchical systems, locust swarm algorithm.

References

- Bashkyrov, O. M., Kostyna, O. M., Shyshatskyi, A. V. (2015). Rozvytok intehrovanykh system zviazku ta peredachi danykh dlia potreby Zbroinykh Syl. *Ozbroiennia ta viyskova tekhnika*, 1, 35–39. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt_2015_1_7
- Dudnyk, V., Sinenko, Y., Matsyk, M., Demchenko, Y., Zhyvotovskiy, R., Repilo, I. et al. (2020). Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (105)), 37–47. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
- Sova, O., Shyshatskyi, A., Salnikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., Hrokholskyi, Y. (2021). Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 30–40. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>
- Pievtsov, H., Turinskyi, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., Shyshatskyi, A. (2020). Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 78–89. 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/ijatse/2020/206942020>
- Yeromina, N., Kurban, V., Mykus, S., Peredrii, O., Voloshchenko, O., Kosenko, V. et al. (2021). The Creation of the Database for Mobile Robots Navigation under the Conditions of Flexible Change of Flight Assignment. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 11 (5), 37–44. doi: https://doi.org/10.46338/ijetae0521_05
- Rotshteyn, A. P. (1999). *Intellectual'nye tekhnologii identifikatsii: nechetkie mnozhestva, geneticheskie algoritmy, neyronnye seti*. Vinnytsa: «UNIVERSUM», 320.
- 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, 33–47. doi: <https://doi.org/10.17308/meps.2017.10/1754>
- Simankov, V. S., Putyato, M. M. (2013). Issledovanie metodov kognitivnogo analiza. *Sistemnyi analiz, upravlenie i obrabotka informatsii*, 13, 31–35.
- 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>
- 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, L., 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. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-2/W1, 59–63. doi: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-2-w1-59-2013>
- Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24 (1), 65–75. doi: [https://doi.org/10.1016/s0020-7373\(86\)80040-2](https://doi.org/10.1016/s0020-7373(86)80040-2)
- Gorelova, G. V. (2013). Kognitivnyi podkhod k imitatsionnomu modelirovaniyu slozhnykh sistem. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki*, 3, 239–250.
- 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268621>
- Cuevas, E., González, A., Zaldívar, D., Cisneros, M. P. (2015). An optimisation algorithm based on the behaviour of locust swarms. *International Journal of Bio-Inspired Computation*, 7 (6), 402. doi: <https://doi.org/10.1504/ijbic.2015.073178>
- Koshlan, A., Salnikova, O., Chekhovska, M., Zhyvotovskiy, R., Prokopenko, Y., Hurskyi, T. et al. (2019). Development of an algorithm for complex processing of geospatial data in the special-purpose geoinformation system in conditions of diversity and uncertainty of data. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (101)), 35–45. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.180197>
- Mahdi, Q. A., Shyshatskyi, A., Prokopenko, Y., Ivakhnenko, T., Kupriyenko, D., Golian, V. et al. (2021). Development of estimation and forecasting method in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (111)), 51–62. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.232718>
- Emel'yanov, V. V., Kureychik, V. V., Kureychik, V. M., Emel'yanov, V. V. (2003). *Teoriya i praktika evolyutsionnogo modelirovaniya*. Moscow: Fizmatlit, 432.
- Gorokhovatsky, V., Stiahlyk, N., Tsarevska, V. (2021). Combination method of accelerated metric data search in image classification problems. *Advanced Information Systems*, 5 (3), 5–12. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.3.01>
- Levashenko, V., Liashenko, O., Kuchuk, H. (2020). Building Decision Support Systems based on Fuzzy Data. *Advanced Information Systems*, 4 (4), 48–56. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.4.07>
- Meleshko, Y., Drieiev, O., Drieieva, H. (2020). Method of identification bot profiles based on neural networks in recommendation

- systems. *Advanced Information Systems*, 4 (2), 24–28. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.2.05>
30. Kuchuk, N., Merlak, V., Skorodelov, V. (2020). A method of reducing access time to poorly structured data. *Advanced Information Systems*, 4 (1), 97–102. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.14>
 31. 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. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.16>
 32. Raskin, L., Sira, O. (2016). Method of solving fuzzy problems of mathematical programming. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (4 (83)), 23–28. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.81292>
 33. Lytvyn, V., Vysotska, V., Pukach, P., Brodyak, O., Ugryn, D. (2017). Development of a method for determining the keywords in the slavic language texts based on the technology of web mining. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (2 (86)), 14–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.98750>
 34. Stepanenko, A., Oliinyk, A., Deineha, L., Zaiko, T. (2018). Development of the method for decomposition of superpositions of unknown pulsed signals using the second-order adaptive spectral analysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (92)), 48–54. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126578>
 35. Gorbenko, I., Ponomar, V. (2017). Examining a possibility to use and the benefits of post-quantum algorithms dependent on the conditions of their application. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (86)), 21–32. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96321>
 36. Koval, M., Sova, O., Orlov, O., Shyshatskyi, A., Artabaiev, Y., Shknaï, O. et al. (2022). Improvement of complex resource management of special-purpose communication systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (119)), 34–44. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266009>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.289292
THE POLYNOMIAL FORECASTS IMPROVEMENT
BASED ON THE ALGORITHM OF OPTIMAL
POLYNOMIAL DEGREE SELECTING (p. 34–42)

Yurii Turbal

National University of Water
and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5727-5334>

Ganna Shlikhta

Rivne State University of Humanities, Rivne, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7184-1822>

Mariana Turbal

National University of Water
and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5675-861X>

Bogdan Turbal

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9343-3263>

The object of research in the paper is extrapolation problems based on interpolation polynomials. Polynomial-based prediction methods are well known. However, the problem is that such methods often give very large errors in practice. The permissible error of extrapolation even by one grid step is not ensured by the high accuracy of interpolation using polynomials.

The paper proposes an algorithm that allows to significantly improve polynomial forecasts by optimizing the procedure for choosing the power of the polynomial, on the basis of which the forecast is built.

The algorithm is based on the procedure for building all polynomial forecasts according to known data and analysis of these forecasts. In particular, the presence of monotonicity and a tendency to convergence allows determining the optimal degree of the polynomial. In the absence of monotonicity, provided that certain ratios are met, the forecast can be constructed as the arithmetic average of all polynomial forecasts. An important result is the estimation of the error of the forecasting method by averaging polynomial forecasts.

The development of the algorithm became possible due to the use of a special method of constructing a one-step polynomial forecast. The method differs in that it allows to build a forecast without using the cumbersome procedure of calculating the unknown coefficients of the polynomial.

The numerical results presented in the work demonstrate the effectiveness of the forecasting technique based on the average of polynomial forecasts. In particular, for the test functions, the relative error was about 2–5 %, while polynomials of different degrees in the worst case yielded more than 50 %.

The obtained results can be useful for building short-term forecasts of series of economic dynamics, forecasting the behavior of arbitrary processes with a dominant deterministic component.

Keywords: prediction algorithm, problem extrapolation, time series, split differences net, Newton's polynomials, Pascal's triangle, convergence of predictions, binomial coefficients, extrapolation error.

References

1. Brezinski, C., Redivo-Zaglia, M. (2020). *Extrapolation and Rational Approximation: The Works of the Main Contributors*. Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-58418-4>
2. Israfilov, D. M., Testici, A. (2018). Some Inverse and Simultaneous Approximation Theorems in Weighted Variable Exponent Lebesgue Spaces. *Analysis Mathematica*, 44 (4), 475–492. doi: <https://doi.org/10.1007/s10476-018-0403-x>
3. Bomba, A. Ya., Turbal, Y. V. (2015). Data Analysis Method and Problems of Identification of Trajectories of Solitary Waves. *Journal of Automation and Information Sciences*, 47 (10), 13–23. doi: <https://doi.org/10.1615/jautomatinfscien.v47.i10.20>
4. Guliyev, V. S., Ghorbanalizadeh, A., Sawano, Y. (2018). Approximation by trigonometric polynomials in variable exponent Morrey spaces. *Analysis and Mathematical Physics*, 9 (3), 1265–1285. doi: <https://doi.org/10.1007/s13324-018-0231-y>
5. Hyndman, R. J., Kostenko, A. V. (2007). Minimum sample size requirements for seasonal forecasting model. *FORESIGHT*, 6. Available at: <https://robjhyndman.com/papers/shortseasonal.pdf>
6. Turbal, Y., Bomba, A., Turbal, M., Alkaleg Hsen Drivi, A. (2021). Some aspects of extrapolation based on interpolation polynomials. *Physico-Mathematical Modelling and Informational Technologies*, 33, 175–180. doi: <https://doi.org/10.15407/fmmit2021.33.175>
7. Shalaginov, A. V. (2011). *Kubicheskaya splayn ekstrapolyatsiya vremennykh ryadov*. International conference on System Analysis and Information Technologies SAIT 2011, Institute for Applied System Analysis of National Technical University of Ukraine. Kyiv. Available at: https://cad.kpi.ua/attachments/141_2011_025s.pdf
8. Kostinsky, A. S. (2014). On the principles of a spline extrapolation concerning geophysical data. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 2, 111–117. doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2014.02.111>
9. Makridakis, S., Bakas, N. (2016). Forecasting and uncertainty: A survey. *Risk and Decision Analysis*, 6 (1), 37–64. doi: <https://doi.org/10.3233/rda-150114>
10. Zhan, Z., Fu, Y., Yang, R.-J., Xi, Z., Shi, L. (2012). A Bayesian Inference based Model Interpolation and Extrapolation. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 5 (2), 357–364. doi: <https://doi.org/10.4271/2012-01-0223>

11. Demiris, N., Lunn, D., Sharples, L. D. (2011). Survival extrapolation using the poly-Weibull model. *Statistical Methods in Medical Research*, 24 (2), 287–301. doi: <https://doi.org/10.1177/0962280211419645>
12. Turbal, Y., Bomba, A., Turbal, M., Sokh, A., Radoveniuk, O. (2019). Pyramidal method of extrapolation for short time series. *International Journal of Computing Science and Mathematics*, 10 (6), 525. doi: <https://doi.org/10.1504/ijcsm.2019.104025>
13. Monroe, J. I., Hatch, H. W., Mahynski, N. A., Shell, M. S., Shen, V. K. (2020). Extrapolation and interpolation strategies for efficiently estimating structural observables as a function of temperature and density. *The Journal of Chemical Physics*, 153 (14). doi: <https://doi.org/10.1063/5.0014282>
14. Wang, L.-Y., Lee, W.-C. (2015). One-step extrapolation of the prediction performance of a gene signature derived from a small study. *BMJ Open*, 5 (4), e007170–e007170. doi: <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2014-007170>
15. Bakas, N. P. (2019). Numerical Solution for the Extrapolation Problem of Analytic Functions. *Research*, 2019. doi: <https://doi.org/10.34133/2019/3903187>
16. Valovyi vnutrishniy produkt (VVP) v Ukraini 2023. Ministerstvo finansiv Ukrainy. Available at: <https://index.minfin.com.ua/ua/economy/gdp/>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.287094
DEVELOPMENT OF RECURRENT NEURAL NETWORKS FOR PRICE FORECASTING AT CRYPTOCURRENCY EXCHANGES (p. 43–54)

Victoria Tyshchenko

Simon Kuznets Kharkiv National University
of Economics, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2530-185X>

Svitlana Achkasova

Simon Kuznets Kharkiv National University
of Economics, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7233-0189>

Oleksii Naidenko

Simon Kuznets Kharkiv National University
of Economics, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0638-3965>

Serhii Kanyhin

Simon Kuznets Kharkiv National University
of Economics, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8710-275X>

Vlada Karpova

Simon Kuznets Kharkiv National University
of Economics, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3712-0391>

The study focuses on improving the quality of using recurrent neural networks (RNNs) to predict cryptocurrency prices. The formula of the target variable for the model based on the arithmetic mean is developed, which allows us to better take into account the dynamics of cryptocurrency exchanges. The factors affecting this variable were grouped into features based on the volume of daily cryptocurrency trading, the volatility of the relevant prices, and the pre-calculated and selected signals of technical indicators. As part of the study, an algorithm for processing daily data was developed for the model. The results obtained made it possible to create a holistic model for forecasting stock prices. Two recurrent neural networks were trained: one with a long short-term memory (LSTM) and the other with a recurrent gate unit (GRU). To determine the efficiency

of the models, the analysis was carried out using two key indicators: the Sortino coefficient, which measures the relative risk/reward for each additional unit of unwanted volatility, and the Sharpe ratio, which measures the return on assets, subtracting the free risk. As a result, it was found that both models have similar results in terms of accuracy (~69%). Still, the GRU-based model showed significantly better values of the Sortino coefficients (3.13) and Sharpe's coefficient (2.45), which allows us to conclude that it is effective on cryptocurrency exchanges. At the same time, the LSTM model requires more parameters for training than the GRU model with an identical structure, which leads to a longer training time. The obtained scientific and practical results are aimed at more efficient use of recurrent neural networks in price forecasting on cryptocurrency exchanges.

Keywords: machine learning, cryptocurrency exchanges, neural networks, deep learning, price prediction.

References

1. About Crypto wallets. Available at: <https://www.liga.net/crypto/ua/wallets>
2. Cryptocurrencies statistics. Available at: <https://coinmarketcap.com>
3. High Data Growth and Modern Applications Drive New Storage Requirements in Digitally Transformed Enterprises. Available at: <https://www.delltechnologies.com/asset/en-us/products/storage/industry-market/h19267-wp-idc-storage-reqs-digital-enterprise.pdf>
4. Chen, C., Zhao, L., Bian, J., Xing, C., Liu, T.-Y. (2019). Investment Behaviors Can Tell What Inside. *Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining*. doi: <https://doi.org/10.1145/3292500.3330663>
5. Marques, N. C., Gomes, C. (2010). Maximus-AI: Using Elman Neural Networks for Implementing a SLMR Trading Strategy. *Lecture Notes in Computer Science*, 579–584. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-15280-1_55
6. Lee, R. S. T. (2020). Chaotic Type-2 Transient-Fuzzy Deep Neuro-Oscillatory Network (CT2TFDNN) for Worldwide Financial Prediction. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 28 (4), 731–745. doi: <https://doi.org/10.1109/tfuzz.2019.2914642>
7. Tran, D. T., Iosifidis, A., Kannianen, J., Gabbouj, M. (2019). Temporal Attention-Augmented Bilinear Network for Financial Time-Series Data Analysis. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 30 (5), 1407–1418. doi: <https://doi.org/10.1109/tnnls.2018.2869225>
8. Bao, W., Yue, J., Rao, Y. (2017). A deep learning framework for financial time series using stacked autoencoders and long-short term memory. *PLOS ONE*, 12 (7), e0180944. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180944>
9. Achkasova, S. (2020). Implementation the fuzzy modeling technology by means of fuzzyTECH into the process of management the riskiness of business entities activity. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (3 (107)), 39–54. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209836>
10. Gers, F. A., Schmidhuber, J., Cummins, F. (2000). Learning to Forget: Continual Prediction with LSTM. *Neural Computation*, 12 (10), 2451–2471. doi: <https://doi.org/10.1162/089976600300015015>
11. Binance API. Available at: <https://www.binance.com/en/binance-api>
12. Development of recurrent neural networks for price forecasting at cryptocurrency exchanges. doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8193302>
13. Resta, M., Pagnottoni, P., De Giuli, M. E. (2020). Technical Analysis on the Bitcoin Market: Trading Opportunities or Investors' Pitfall? *Risks*, 8 (2), 44. doi: <https://doi.org/10.3390/risks8020044>
14. Deng, Y., Bao, F., Kong, Y., Ren, Z., Dai, Q. (2017). Deep Direct Reinforcement Learning for Financial Signal Representation and Trading. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 28 (3), 653–664. doi: <https://doi.org/10.1109/tnnls.2016.2522401>

15. Wang, J., Wang, J., Fang, W., Niu, H. (2016). Financial Time Series Prediction Using Elman Recurrent Random Neural Networks. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2016, 1–14. doi: <https://doi.org/10.1155/2016/4742515>
16. Sharpe, W. F. (1966). Mutual Fund Performance. *The Journal of Business*, 39 (S1), 119. doi: <https://doi.org/10.1086/294846>
17. Sortino, F. A., Price, L. N. (1994). Performance Measurement in a Downside Risk Framework. *The Journal of Investing*, 3 (3), 59–64. doi: <https://doi.org/10.3905/joi.3.3.59>
18. Lloyd, S. (1982). Least squares quantization in PCM. *IEEE Transactions on Information Theory*, 28 (2), 129–137. doi: <https://doi.org/10.1109/tit.1982.1056489>
19. Li, Z., Yang, D., Zhao, L., Bian, J., Qin, T., Liu, T.-Y. (2019). Individualized Indicator for All. *Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining*. doi: <https://doi.org/10.1145/3292500.3330833>
20. Neely, C. J., Rapach, D. E., Tu, J., Zhou, G. (2014). Forecasting the Equity Risk Premium: The Role of Technical Indicators. *Management Science*, 60 (7), 1772–1791. doi: <https://doi.org/10.1287/mnsc.2013.1838>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.289046
IDENTIFYING THE INFLUENCE OF THE DISTANCE FACTOR ON THE LEVEL OF TRANSACTION COSTS AT AGRICULTURAL PROCESSING ENTERPRISES (p. 55–62)

Fuad Ibrahimov

Public Association «Center for Socio-Economic and Environmental Research», Baku, Azerbaijan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4852-4754>

Rasul Balayev

Azerbaijan State University of Economics (UNEC), Baku, Azerbaijan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7642-1635>

Ulviyya Rzayeva

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

The object of this study is the transaction costs of agricultural processing enterprises that operate in cooperation with various participants: suppliers of raw materials, buyers of finished products, research enterprises, and other entities. Transaction costs arise at all stages of activity, from the preparation of an agro-processing project to the achievement of the final result.

For this, a simulation modeling system is proposed, including an optimization model that allows estimating the quantitative components of transaction costs. The process of transactions between various participants such as suppliers, customers, and partners is studied using simulation models. To demonstrate the applicability of this model to the example of agro-industrial enterprises, some parameters of transaction costs are modeled when choosing suppliers of raw materials at recommended intervals.

The feasibility of simulating the costs of establishing a relationship with a new partner in the range of 0.5–0.6, and the benefits in the range of 1.05–1.10 has been determined. It has been found that transaction costs associated with raw material suppliers can be saved by 40.0 % in the next 3 years through optimization and digital capabilities.

The presented approach can be useful for a deeper study of the digital environment's impact on the level of transaction costs in agricultural processing enterprises. Such an analysis will reveal potential opportunities for optimization and cost reduction, which is important for improving the efficiency and competitiveness of these enterprises.

Keywords: transaction costs, measure of distance, agro-industrial enterprises, modeling, technological and mathematical foundations.

References

1. Ketokivi, M., Mahoney, J. T. (2017). *Transaction Cost Economics as a Theory of the Firm, Management, and Governance*. Oxford Research Encyclopedia of Business and Management. doi: <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190224851.013.6>
2. Stifel, D. C., Minten, B., Dorosh, P. (2003). Transactions Costs and Agricultural Productivity: Implications of Isolation for Rural Poverty in Madagascar. *SSRN Electronic Journal*. doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.449220>
3. Blanco, C., Raurich, X. (2022). Agricultural composition and labor productivity. *Journal of Development Economics*, 158, 102934. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2022.102934>
4. Rindfleisch, A. (2019). Transaction cost theory: past, present and future. *AMS Review*, 10 (1-2), 85–97. doi: <https://doi.org/10.1007/s13162-019-00151-x>
5. Coase, R. H. (1937). The Nature of the Firm. *Economica*, 4 (16), 386–405. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1468-0335.1937.tb00002.x>
6. Sgroi, F., Sciancalepore, V. D. (2022). Dynamics of structural change in agriculture, transaction cost theory and market efficiency: The case of cultivation contracts between agricultural enterprises and the food industry. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10, 100396. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100396>
7. Yousuf, A. (2017). Transaction Costs: A Conceptual Framework. *International Journal of Engineering and Management Sciences*, 2 (3), 131–139. doi: <https://doi.org/10.21791/ijems.2017.3.13>
8. Smith, K. A., Bailie, K. (2022). Why Are Food Prices Still Rising? *Forbes*. Available at: <https://www.forbes.com/advisor/personal-finance/why-are-food-prices-still-rising/>
9. *Agriculture and Food Security: Casualties of the War in Ukraine*. CSİS. Available at: <https://www.csis.org/analysis/agriculture-and-food-security-casualties-war-ukraine>
10. Alexander, P., Brown, C., Arneith, A., Finnigan, J., Moran, D., Rounsevell, M. D. A. (2017). Losses, inefficiencies and waste in the global food system. *Agricultural Systems*, 153, 190–200. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.014>
11. Baraka, B., Mburu, J., Muriithi, B. (2019). Transaction costs magnitudes, market participation, and smallholder profitability in rural-urban vegetable supply chain. *International Journal of Vegetable Science*, 27 (1), 54–64. doi: <https://doi.org/10.1080/19315260.2019.1700204>
12. Fu, W., Zhang, R. (2022). Can Digitalization Levels Affect Agricultural Total Factor Productivity? Evidence From China. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. doi: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.860780>
13. Balayev, R. A., Mirzayev, N. S., Bayramov, H. M. (2021). Sustainability of urbanization processes in the digital environment: food security factors. *Acta Scientiarum Polonorum Administratio Locorum*, 20 (4), 283–294. doi: <https://doi.org/10.31648/aspal.6819>
14. Keusch, F., Sugie, N. (2022). *How to Distinguish Between Passive and Active Mobile Data Collection*. SAGE Publications, Ltd. doi: <https://doi.org/10.4135/9781529608304>
15. Hasanli, Y., Guliyev, G. (2017). Analysis of agricultural products production in Azerbaijan using the Cobb-Douglas function. *Statistical News Journal*.
16. Ibrahimov, F., Rzayeva, U., Balayev, R. (2023). Opportunities and perspectives of the digital twins' conception: the case in agriculture. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (13 (121)), 102–112. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.273975>
17. Chintagunta, P. K., Chu, J., Cebohlada, J. (2012). Quantifying Transaction Costs in Online/Off-line Grocery Channel Choice. *Marketing Science*, 31 (1), 96–114. doi: <https://doi.org/10.1287/mksc.1110.0678>

18. Coase, R. H. (1984). The New Institutional Economics. *Zeitschrift Für Die Gesamte Staatswissenschaft / Journal of Institutional and Theoretical Economics*, 140 (1), 229–231. Available at: <http://www.jstor.org/stable/40750690>
19. Loch, A., Santato, S., Pérez-Blanco, C. D., Mysiak, J. (2020). Measuring the Transaction Costs of Historical Shifts to Informal Drought Management Institutions in Italy. *Water*, 12 (7), 1866. doi: <https://doi.org/10.3390/w12071866>
20. Nootboom, B. (1992). Information technology, transaction costs and the decision to «make or buy». *Technology Analysis & Strategic Management*, 4 (4), 339–350. doi: <https://doi.org/10.1080/09537329208524105>
21. Bloomenthal, A. Asymmetric Information in Economics Explained. Available at: <https://www.investopedia.com/terms/a/asymmetricinformation.asp>
22. Wieland, J., Fischer, D. (2019). Transaction Cost Theory and Business Legitimacy. *Handbook of Business Legitimacy*, 1–21. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-68845-9_14-1
23. Crook, T. R., Combs, J. G., Ketchen, D. J., Aguinis, H. (2013). Organizing Around Transaction Costs: What Have We Learned and Where Do We Go from Here? *Academy of Management Perspectives*, 27 (1), 63–79. doi: <https://doi.org/10.5465/amp.2012.0008>
24. Smelser, N. J., Baltes, P. B. (2001). *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*. Pergamon.
25. Alagheband, F. K., Rivard, S., Wu, S., Goyette, S. (2011). An assessment of the use of Transaction Cost Theory in information technology outsourcing. *The Journal of Strategic Information Systems*, 20 (2), 125–138. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2011.04.003>
26. Das, N. (2018). Advantages and disadvantages of Expert Systems. Available at: <https://www.ilearnlot.com/expert-system-advantages-disadvantages/34332/>
27. de Rosa, F., De Gloria, A., Joussemme, A.-L. (2019). Analytical games for knowledge engineering of expert systems in support to Situational Awareness: The Reliability Game case study. *Expert Systems with Applications*, 138, 112800. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.07.017>
28. Argilés-Bosch, J. M., Garcia-Blandón, J., Ravenda, D. (2022). Cost behavior in e-commerce firms. *Electronic Commerce Research*. doi: <https://doi.org/10.1007/s10660-021-09528-2>
29. Yan, Q., Zhang, Q., Zou, X. (2016). A Cost Optimization Model for Multiresource Leveling Problem without Project Duration Constraint. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2016, 1–8. doi: <https://doi.org/10.1155/2016/1514959>
30. Micro, small, and medium entrepreneurship in Azerbaijan (2022). Baku.
31. Su, J., Wei, Y., Wang, S., Liu, Q. (2023). The impact of digital transformation on the total factor productivity of heavily polluting enterprises. *Scientific Reports*, 13 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33553-w>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.289185
IMPROVING THE EFFICIENCY OF DIAGNOSING ERRORS IN COMPUTER DEVICES FOR PROCESSING ECONOMIC DATA FUNCTIONING IN THE CLASS OF RESIDUALS (p. 63–73)

Svitlana Onyshchenko

National University «Yuri Kondratyuk
 Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6173-4361>

Alina Yanko

National University «Yuri Kondratyuk
 Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2876-9316>

Alina Hlushko

National University «Yuri Kondratyuk
 Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4086-1513>

This paper proposes an improved method for diagnosing errors of computer devices, which process economic data in computer systems, by increasing efficiency. The object of research is the processes of control and diagnosis of data errors, in the class of residuals (CR). The improved method of diagnosing economic data represented in the non-positional system of calculation in CR is based on the application of orthogonal bases of partial sets of bases. The use of these bases makes it possible to organize the process of parallel processing of the projections of the output number of the non-positional code structure. This makes it possible to increase the efficiency of data diagnostics by n times, depending on the length of the bit grid of computer systems. For a single-byte computer system, the efficiency of data diagnosis increases by 1.2 times compared to the existing method based on the zeroing principle. At the same time, the effectiveness of operational control and diagnostics systems for data processing in CR with the growth of bit grids has been proven.

Based on the results, it is shown that, unlike the correction codes used in the positional counting system, the arithmetic codes in CR have additional correction capabilities. An example of a specific implementation of the process of applying operational control and diagnosing errors in the processing of economic data presented in CR is given. The improved diagnostic method will make it possible (in comparison with existing diagnostic methods) to reduce the time, which increases the efficiency of the diagnostic procedure of data operating in CR. The results give grounds for asserting that, based on the improved method and the developed algorithm for the implementation of data diagnostics, it is possible to synthesize a device for reliable and operational control and diagnostics of economic data operating in CR.

Keywords: error diagnosis, processing of economic data, class of residuals, non-positional code structure.

References

1. Onyshchenko, S., Brychko, M., Litovtseva, V., Yevsieieva, A. (2022). Trust in the financial sector: a new approach to conceptualizing and measuring. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*, 1 (42), 206–217. doi: <https://doi.org/10.55643/fcaptop.142.2022.3735>
2. Devanny, J., Martin, C., Stevens, T. (2021). On the strategic consequences of digital espionage. *Journal of Cyber Policy*, 6 (3), 429–450. doi: <https://doi.org/10.1080/23738871.2021.2000628>
3. Onyshchenko, V., Onyshchenko, S., Verhal, K., Buriak, A. (2023). The Energy Efficiency of the Digital Economy. *Proceedings of the 4th International Conference on Building Innovations*, 761–767. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-17385-1_64
4. Onyshchenko, S., Bilko, S., Yanko, A., Sivitska, S. (2023). Business Information Security. *Proceedings of the 4th International Conference on Building Innovations*, 769–778. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-17385-1_65
5. Buchanan, W. (2023). Integrated Services Digital Network (ISDN). *Advanced Data Communications and Networks*, 515–527. doi: <https://doi.org/10.1201/9781003420415-32>
6. Onyshchenko, S., Skryl, V., Hlushko, A., Maslii, O. (2023). Inclusive Development Index. *Proceedings of the 4th International Conference on Building Innovations*, 779–790. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-17385-1_66
7. Gupta, I., Pathak, P. (2022). Cybersecurity in digital epoch: Emerging threats and modern defense techniques. *AIP Conference Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1063/5.0109715>

8. Onyshchenko, V., Onyshchenko, S., Maslii, O., Maksymenko, A. (2023). Systematization of Threats to Financial Security of Individual, Society, Business and the State in Terms of the Pandemic. Proceedings of the 4th International Conference on Building Innovations, 749–760. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-17385-1_63
9. Onyshchenko, S., Yanko, A., Hlushko, A., Maslii, O., Skryl, V. (2023). The Mechanism of Information Security of the National Economy in Cyberspace. Proceedings of the 4th International Conference on Building Innovations, 791–803. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-17385-1_67
10. Yusif, S., Hafeez-Baig, A. (2021). A Conceptual Model for Cybersecurity Governance. Journal of Applied Security Research, 16 (4), 490–513. doi: <https://doi.org/10.1080/19361610.2021.1918995>
11. Hidouri, A., Hajlaoui, N., Touati, H., Hadded, M., Muhlethaler, P. (2022). A Survey on Security Attacks and Intrusion Detection Mechanisms in Named Data Networking. Computers, 11 (12), 186. doi: <https://doi.org/10.3390/computers11120186>
12. Li, X., Wen, C., Li, X., Deng, C. (2022). Stabilization for a General Class of Fractional-Order Systems: A Sampled-Data Control Method. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, 69 (11), 4643–4653. doi: <https://doi.org/10.1109/tcsi.2022.3192299>
13. Guan, C., Sun, D., Fei, Z., Ren, C. (2018). Synchronization for switched neural networks via variable sampled-data control method. Neurocomputing, 311, 325–332. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.05.060>
14. Krasnobaev, V., Reshetniak, O., Kuznetsova, T., Florov, S., Kotukh, Y. (2019). Data Control Method, which Presented By Code of Non-Positioning System of Deduction Class Calculation. 2019 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo). doi: <https://doi.org/10.1109/ukrmico47782.2019.9165528>
15. Akhmetov, B. S., Krasnobaev, V. A., Kuznetsov, A. A., Alimseitova, Zh. K. (2020). Method for controlling data presented in the deduction class. BULLETIN Series of Physics & Mathematical Sciences, 71(3), 165–172. doi: <https://doi.org/10.51889/2020-3.1728-7901.24>
16. Krasnobaev, V., Kuznetsov, A., Koshman, S., Moroz, S. (2018). Improved Method of Determining the Alternative Set of Numbers in Residue Number System. Recent Developments in Data Science and Intelligent Analysis of Information, 319–328. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-97885-7_31
17. Barsi, F., Maestrini, P. (1973). Error Correcting Properties of Redundant Residue Number Systems. IEEE Transactions on Computers, C-22 (3), 307–315. doi: <https://doi.org/10.1109/t-c.1973.223711>
18. Popov, D. I., Gapochkin, A. V. (2018). Development of Algorithm for Control and Correction of Errors of Digital Signals, Represented in System of Residual Classes. 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). doi: <https://doi.org/10.1109/rusautocon.2018.8501826>
19. Tao, K., Peng, L., Liang, K., Zhuo, B. (2017). Irregular repeat accumulate low-density parity-check codes based on residue class pair. 2017 IEEE 9th International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN). doi: <https://doi.org/10.1109/iccsn.2017.8230092>
20. Koshman, S., Krasnobaev, V., Nikolsky, S. (2021). Method for diagnosing data errors of a computer system functioning in the system of residual classes. Advanced Information Systems, 5 (3), 76–80. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.3.10>
21. Krasnobaev, V., Yanko, A., Kovalchuk, D. (2023). Control, Diagnostics and Error Correction in the Modular Number System. Computer Modeling and Intelligent Systems, 3392, 199–213. doi: <https://doi.org/10.32782/cmisis/3392-17>
22. Shelehev, I. V., Barchenko, N. L., Prylepa, D. V., Bibyk, M. V. (2022). Information-extreme machine training system of functional diagnosis system with hierarchical data structure. Radio Electronics, Computer Science, Control, 2, 189. doi: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2022-18>
23. Krasnobaev, V., Kuznetsov, A., Yanko, A., Kuznetsova, T. (2020). The Analysis of the Methods of Data Diagnostic in a Residue Number System. Proceedings of The Second International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS 2020). Kyiv, 2608, 594–609. doi: <https://doi.org/10.32782/cmisis/2608-46>
24. Borysenko, O., Matsenko, S., Novhorodtsev, A., Kobyakov, O., Spolitis, S., Bobrov, V. (2020). Estimating the indivisible error detecting codes based on an average probability method. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (9 (108)), 25–33. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.218076>
25. Shiryaev, E., Bezuglova, E., Babenko, M., Tchernykh, A., Pulido-Gaytan, B., Cortes-Mendoza, J. M. (2021). Performance Impact of Error Correction Codes in RNS with Returning Methods and Base Extension. 2021 International Conference Engineering and Telecommunication (En&T). doi: <https://doi.org/10.1109/ent50460.2021.9681756>
26. Yang, L., Hanzo, L. (2020). Coding Theory and Performance Of Redundant Residue Number System Codes. doi: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35443.96804>
27. Onyshchenko, S., Shchurov, I., Cherviak, A., Kivshyk, O. (2023). Methodical approach to assessing financial and credit institutions' economic security level. Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice, 2 (49), 65–78. doi: <https://doi.org/10.55643/fcaptop.2.49.2023.4037>
28. Kapalova, N., Algazy, K., Haumen, A. (2023). Development of a new lightweight encryption algorithm. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (9 (123)), 6–19. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.280055>
29. Suzdal', V. S., Epifanov, Yu. M. (2011). Model reduction at synthesis of controllers for crystallization control. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (3 (50)), 31–34. Available at: <https://journals.urau.ua/eejet/article/view/1745/1642>
30. Raskin, L., Sukhomlyn, L., Karpenko, V., Sokolov, D. (2023). Statistical processing of a small sample of raw data using artificial orthogonalisation technology. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (4 (123)), 14–21. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.282130>
31. Yu, Q., Wu, F., Zhang, M., Xie, C. (2023). Fast phase error correction with reference beam-assisted LDPC coding for collinear holographic data storage. Optics Express, 31 (12), 20345. doi: <https://doi.org/10.1364/oe.488994>
32. White, R. E. (2023). Orthogonal Subspaces and Bases. Computational Linear Algebra, 129–146. doi: <https://doi.org/10.1201/9781003304128-5>
33. Marefat, A., Joloudari, J. H., Rastgarpour, M. (2023). A Transformer-based Algorithm for Automatically Diagnosing Malaria Parasite in Thin Blood Smear Images Using MobileViT. doi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3067927/v1>
34. Jia, Y., Wang, S., Jin, J., Long, H. (2023). Adaptive Orthogonal Basis Scheme for OTFS. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, 57–68. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-34790-0_5

АНОТАЦІЇ

MATHEMATICS AND CYBERNETICS – APPLIED ASPECTS

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.288178

РОЗРОБКА МОДЕЛІ СТЕГANOГРАФІЧНОГО ВБУДОВАННЯ ІДЕНТИФІКАТОРА БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА В ДАНІ ФОРМАТУ ADS-B (с. 6–16)**Serhii Semenov, Minjian Zhang, O. O. Можасв, Н. Г. Кучук, С. А. Тюленев, Ю. В. Гусов, М. О. Можасв, В. М. Струков, Ю. М. Онищенко, Г. А. Кучук**

Захищений обмін даними в системі управління безпілотними літальними апаратами (БПЛА) є важливим аспектом для запобігання несанкціонованому доступу та безпеки повітряних апаратів. Через проблеми захисту даних автоматичного залежного спостереження – радіомовного (ADS-B, Automatic dependent surveillance-broadcast) рівень безпеки виконання польотного завдання БПЛА та повітряного руху загалом суттєво знижений. Тому захист даних ADS-B є актуальним завданням. Об'єктом дослідження є процес стеганографічного захисту даних формату ADS-B. Вирішується актуальна проблема оцінки ймовірно-часових характеристик процесу стеганографічного захисту з урахуванням особливостей вбудовування даних у контейнер формату ADS-B. Для її вирішення здійснена математична формалізація методів знаходження ймовірно-часових характеристик стеганографічних систем. Розроблено модель операцій стеганографічного перетворення даних на основі китайської теореми про остачі. Основною відмінністю моделі є врахування особливостей даних формату ADS-B. Це дозволило формалізувати та оцінити функції часу стеганографічного кодування та декодування ідентифікаторів БПЛА із вбудованою системою ADS-B. Розроблено модель операцій стеганографічного перетворення даних на основі теореми про кінцеве цілісне кільце. Сформовано перелік операцій, що виконуються у розробленому алгоритмі. Це дозволило провести математичну формалізацію операцій для комплексного використання в моделі стеганографічного захисту ідентифікаторів БПЛА із вбудованою системою ADS-B. Досліджено математичну модель та виконано оцінку випадкової величини часу стеганографічного перетворення даних, а також довірчого інтервалу. За допомогою представленого комплексу моделей можна оцінити ймовірність попадання часу виконання алгоритму до заданого інтервалу. Результати обчислення ймовірно-часових характеристик можна використовувати у моделях вищого рівня ієрархії.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати, система ADS-B, інформаційна безпека, стеганографічний захист даних, GERT-мережа.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.287003

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПОШУКУ РІШЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ УДОСКОНАЛЕНОГО АЛГОРИТМУ МАВП (С. 17–24)**А. В. Шишацький, О. П. Нечипорук, Н. Г. Кучук, І. І. Становська, О. Л. Налапко, О. В. Шкнай, Н. М. Протас, С. В. Шостак, А. Б. Більковська, П. І. Шаповал**

Об'єктом дослідження є системи підтримки прийняття рішень. Предметом дослідження є процес прийняття рішення в задачах управління за допомогою алгоритму мавп та штучних нейронних мереж, що еволюціонують.

Запропоновано методику пошуку рішень з використанням удосконаленого алгоритму мавп. В основу дослідження покладений алгоритм мавп – для пошуку рішення щодо стану об'єкту. Для навчання агентів мавп (АМ) – використовуються штучні нейронні мережі, що еволюціонують.

Методика має наступну послідовність дій:

- введення вихідних даних;
- оброблення вихідних даних з урахуванням ступеню невизначеності;
- для кожного АМ генерується вектор пошуку з урахуванням ступеню невизначеності;
- визначення початкової швидкості руху АМ;
- обчислення функції придатності рішення АМ;
- обчислення висоти руху АМ;
- перевірка виконання умов локального стрибка;
- генерація координат площини локального пошуку;
- обчислення функції придатності рішення АМ;
- генерація координат площини глобального пошуку;
- розподіл пошуку між зграєю АМ;
- зміна швидкості руху АМ;
- перевірка допустимого значення отриманого рішення щодо стану об'єкту;
- навчання баз знань АМ.

Оригінальність запропонованої методики полягає у розставленні АМ з урахуванням невизначеності вихідних даних, удосконаленими процедурами глобального та локального пошуку з урахуванням ступеню зашумленості даних про стан об'єкту аналізу. Особливістю запропонованої методики є використання удосконаленої процедури навчання АМ. Процедура навчання полягає в тому, що відбувається навчання параметрів та архітектури окремих елементів і архітектури штучної нейронної мережі в цілому. Використання методики дозволяє досягти підвищення оперативності обробки даних на рівні 23–28 % за рахунок використання додаткових удосконалених процедур.

Ключові слова: ройовий інтелект, системи підтримки прийняття рішень, ієрархічні системи, алгоритм мавп.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.287316

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПОШУКУ РІШЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ УДОСКОНАЛЕНОГО АЛГОРИТМУ РОЮ САРАНИ (с. 25–33)

В. В. Тюрін, Р. О. Беляков, О. Б. Одарущенко, В. Ж. Яценюк, О. П. Шапошнікова, Г. Т. Ляшенко, О. Л. Становський, Б. О. Мельник, С. В. Сус, М. В. Дворський

Об'єктом дослідження є системи підтримки прийняття рішень. Предметом дослідження є процес прийняття рішення в задачах управління за допомогою алгоритму зграї сарани та штучних нейронних мереж, що еволюціонують.

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

- введення вихідних даних;
- оброблення вихідних даних з урахуванням ступеню невизначеності;
- початкове виставлення АС на ділянці пошуку;
- визначення початкової швидкості руху АС;
- генерується вектор пошуку з урахуванням ступеню невизначеності;
- обчислення зміни значення функції придатності АС;
- навчання баз знань АС.

Оригінальність запропонованої методики полягає у розставленні АС з урахуванням невизначеності вихідних даних, удосконаленими процедурами глобального та локального пошуку з урахуванням ступеню зашумленості даних про стан об'єкту аналізу. Також оригінальністю дослідження є уникнення концентрації АС на поточних найкращих позиціях, зниження ймовірності передчасної збіжності роботи алгоритму та підтримання балансу між швидкістю збіжності алгоритму та диверсифікацією. Особливістю запропонованої методики полягає у використанні удосконаленої процедури навчання АС. Процедура навчання полягає в тому, що відбувається навчання параметрів та архітектури окремих елементів і архітектури штучної нейронної мережі в цілому. Використання методики дозволяє досягти підвищення оперативності обробки даних на рівні 25–28 % за рахунок використання додаткових удосконалених процедур.

Ключові слова: ройовий інтелект, системи підтримки прийняття рішень, ієрархічні системи, алгоритм зграї сарани.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.289292

ВДОСКОНАЛЕННЯ ПОЛІНОМІАЛЬНИХ ПРОГНОЗІВ НА ОСНОВІ АЛГОРИТМУ ОПТИМАЛЬНОГО ВИБОРУ СТЕПЕНЯ МНОГОЧЛЕНА (с. 34–42)

Ю. В. Турбал, Г. О. Шліхта, М. Ю. Турбал, Б. Ю. Турбал

Об'єктом дослідження в роботі є екстраполяція на основі інтерполяційних многочленів. Методи прогнозування на основі многочленів є добре відомими. Однак проблема полягає в тому, що такі методи часто дають дуже великі похибки на практиці. Допустима похибка екстраполяції навіть на один крок сітки не забезпечується високою точністю інтерполявання за допомогою многочленів.

В роботі пропонується алгоритм, який дозволяє суттєво вдосконалити поліноміальні прогнози шляхом оптимізації процедури вибору степеня многочлена, на основі якого будується прогноз.

В основі алгоритму покладено процедуру побудови усіх поліноміальних прогнозів за експериментальними даними та аналіз цих прогнозів. Зокрема, наявність монотонності та тенденції до збіжності дозволяє визначити оптимальний стіпень многочлена. У випадку відсутності монотонності за умови виконання певних співвідношень прогноз може бути побудований як середнє арифметичне всіх поліноміальних прогнозів. Важливим результатом є оцінка похибки методу прогнозування за допомогою усереднень поліноміальних прогнозів.

Розробка алгоритму стала можливою за рахунок використання особливого методу побудови поліноміального прогнозу на один крок, який використовує знакозмінні ряди добутків біноміальних коефіцієнтів та відомих значень функції. Метод відрізняється тим, що дозволяє будувати прогноз без використання громіздкої процедури обрахунку невідомих коефіцієнтів многочлена.

Чисельні результати, що наведені у роботі, демонструють ефективність методики прогнозування на основі середнього поліноміальних прогнозів. Зокрема, для тестових функцій відносна похибка становила порядку 2–5 %, в той же час коли многочлени різних степенів в найгіршому випадку давали понад 50 %.

Отримані результати можуть бути корисними для побудови короткострокових прогнозів рядів економічної динаміки, прогнозування поведінки довільних процесів з домінуючою детермінованою складовою.

Ключові слова: алгоритм прогнозування, задача екстраполяції, часовий ряд, розділені різниці, сітка, многочлени Н'ютона, трикутник Паскаля, збіжність прогнозів, біноміальні коефіцієнти, похибка екстраполяції.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.287094

РОЗРОБКА РЕКУРЕНТНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЦІН НА КРИПТОВАЛЮТНИХ БІРЖАХ (с. 43–54)

В. Ф. Тищенко, С. А. Ачкасова, О. Є. Найдено, С. М. Канигін, В. В. Карпова

Проведено дослідження, в якому зосереджено увагу на покращенні якості використання рекурентних нейронних мереж (РНМ) при прогнозуванні цін на криптовалютних біржах. Розроблено формулу цільової змінної для моделі на основі арифметичного середнього, що дозволяє краще враховувати динаміку криптовалютних бірж. Фактори, що впливають на цю змінну, було об'єднано у групи ознак, які базуються на обсязі денних торгів криптовалютою, волатильності відповідних цін та на попередньо розрахованих

та відібраних сигналах технічних індикаторів. В рамках дослідження сформовано алгоритм обробки щоденних даних для їх використання в моделі. Отримані результати дали змогу створити цілісну модель прогнозування біржових цін. Натреновано дві рекурентні нейронні мережі: одна з довгою короткочасною пам'яттю (ДКЧП), а інша з рекурентним блоком з вентиляним перемикачем (ВРВ). З метою визначення ефективності моделей, проведено аналіз за допомогою двох ключових показників: коефіцієнта Сортіно, що вимірює відносний ризик/виграш для кожної додаткової одиниці небажаної волатильності, і коефіцієнта Шарпа, який вимірює дохід від активів, вираховуючи вільний ризик. В результаті виявлено, що обидві моделі мають схожі результати за рівнем точності (~69 %), але модель на основі ВРВ показала значно кращі значення коефіцієнтів Сортіно (3.13) та Шарпа (2.45), що дозволяє зробити висновок про її ефективність на криптовалютних біржах. При цьому, ДКЧП модель потребує більшої кількості параметрів для навчання, ніж ВРВ при ідентичній структурі, що призводить до більших витрат часу на навчання. Отримані науково-практичні результати спрямовані на більш ефективне використання рекурентних нейронних мереж при прогнозуванні цін на криптовалютних біржах.

Ключові слова: машинне навчання, криптовалютні біржі, нейронні мережі, глибоке навчання, прогнозування цін.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.289046

ВИЯВЛЕННЯ ВПЛИВУ ФАКТОРА ДИСТАНЦІЇ НА РІВЕНЬ ТРАНЗАКЦІЙНИХ ВИТРАТ НА ПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА (с. 55–62)

Fuad Ibrahimov, Rasul Balayev, Ulviyya Rzayeva

Об'єктом дослідження є транзакційні витрати підприємств переробки сільськогосподарської продукції, які працюють у кооперації з різними учасниками: постачальниками сировини, покупцями готової продукції, науково-дослідними підприємствами та іншими суб'єктами. Транзакційні витрати виникають на всіх етапах діяльності, від підготовки проекту агропереробки до досягнення кінцевого результату.

Для цього запропоновано систему імітаційного моделювання, що включає оптимізаційну модель, що дозволяє оцінити кількісні складові транзакційних витрат. Процес транзакцій між різними учасниками, такими як постачальники, клієнти та партнери, вивчається за допомогою імітаційних моделей. Для демонстрації застосовності цієї моделі на прикладі агропромислових підприємств моделюються деякі параметри транзакційних витрат при виборі постачальників сировини через рекомендовані інтервали.

Визначено доцільність моделювання витрат на встановлення відносин з новим партнером у діапазоні 0,5–0,6, а вигод – у діапазоні 1,05–1,10. Було виявлено, що витрати на транзакцію, пов'язані з постачальниками сировини, можна скоротити на 40,0 % протягом наступних 3 років завдяки оптимізації та цифровим можливостям.

Представлений підхід може бути корисним для глибшого вивчення впливу цифрового середовища на рівень транзакційних витрат на підприємствах переробки сільськогосподарської продукції. Такий аналіз дозволить виявити потенційні можливості оптимізації та скорочення витрат, що важливо для підвищення ефективності та конкурентоспроможності цих підприємств.

Ключові слова: транзакційні витрати, міра відстані, агропромислові підприємства, моделювання, технологічні та математичні основи.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.289185

ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАТИВНОСТІ ДІАГНОСТИКИ ПОМИЛОК КОМП'ЮТЕРНИХ ПРИСТРОЇВ ОБРОБКИ ЕКОНОМІЧНИХ ДАНИХ, ФУНКЦІОНУЮЧИХ У КЛАСІ ЛИШКІВ (с. 63–73)

С. В. Онищенко, А. С. Янко, А. Д. Глушко

Запропоновано удосконалений метод діагностики помилок комп'ютерних пристроїв обробки економічних даних комп'ютерних систем за рахунок підвищення оперативності. Об'єкт дослідження – процеси контролю та діагностики помилок даних, у класі лишків (КЛ). Удосконалений метод діагностики економічних даних, представлених в непозиційній системі числення у КЛ, ґрунтується на застосуванні ортогональних базисів частинних наборів основ. Застосування даних базисів дозволяє організувати процес паралельної обробки проєкцій вихідного числа непозиційної кодової структури. Це дозволяє в n разів підвищити оперативність діагностування даних в залежності від дожини розрядної сітки комп'ютерних систем. Для однобайтової комп'ютерної системи 1,2 рази підвищується оперативність діагностування даних у порівнянні з існуючим методом на основі принципу нулевизації. При цьому доведено ефективність систем оперативного контролю та діагностики обробки даних у КЛ при рості розрядних сіток.

На основі результатів показано, що на відміну від коригувальних кодів, що використовуються в позиційній системі числення, арифметичні коди в КЛ мають додаткові коригувальні можливості. Наведено приклад конкретної реалізації процесу застосування оперативного контролю та діагностики помилок при обробці економічних даних представлених в КЛ. Вдосконалений методу діагностики дозволить (у порівнянні з існуючими методами діагностики) скоротити час, що підвищує оперативність процедури діагностики даних, що функціонують у КЛ. Отримані результати дають підстави стверджувати, що на основі удосконаленого методу та розробленого алгоритму для реалізації діагностики даних, можна синтезувати пристрій для достовірного та оперативного контролю та діагностики економічних даних, що функціонують у КЛ.

Ключові слова: діагностика помилок, обробка економічних даних, клас лишків, непозиційна кодова структура.