

ABSTRACT AND REFERENCES

MATHEMATICS AND CYBERNETICS – APPLIED ASPECTS

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.291008

DEVELOPMENT OF A SOLUTION SEARCH METHOD USING THE IMPROVED EMPEROR PENGUIN ALGORITHM (p. 6–13)**Andrii Shyshatskyi**Kharkiv National Automobile
and Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6731-6390>**Oleksii Romanov**Scientific-Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0611-3260>**Oleh Shknaï**Scientific-Research Institute of Military Intelligence, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5572-4917>**Vitalina Babenko**Kharkiv National Automobile
and Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4816-4579>**Oleksandr Koshlan**The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9678-6463>**Vitalii Kryvosheiev**The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6073-5549>**Alona Biletska**Central Scientifically-Research Institute of Armaments and
Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0178-0542>**Tetiana Pluhina**Kharkiv National Automobile
and Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6724-6708>**Tetiana Stasiuk**Military Institute of Telecommunications and Information
Technologies named after Heroes of Kruty, Poltava, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8434-1853>**Svitlana Kashkevich**National Aviation University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4448-3839>

The objects of the study are decision support systems. The subject of the study is the decision-making process in management problems using the Emperor Penguin Algorithm (EPA), an advanced genetic algorithm and evolving artificial neural networks.

A solution search method using the improved EPA is proposed. The study is based on the EPA algorithm for finding a solution regarding the object state. Evolving artificial neural networks are used to train EPA, and an advanced genetic algorithm is used to select the best EPA. The method has the following sequence of actions:

- input of initial data;
- setting agents on the search plane;
- numbering EPA in the flock;
- setting the initial velocity of the EPA and thermal radiation of each EPA;

- calculation of the position of each EPA on the total search area and its cost;
- approach (attraction) of the EPA to another EPA;
- changing in the trajectory of EPA movement;
- selection of the best individuals from the EPA flock;
- ranking the obtained solutions and sorting them;
- training EPA knowledge bases;
- determining the amount of necessary computing resources for an intelligent decision support system.

The originality of the proposed method lies in setting EPA taking into account the uncertainty of the initial data, improved global and local search procedures taking into account the noise degree of data on the state of the analysis object. The method makes it possible to increase the efficiency of data processing at the level of 13–17 % due to the use of additional improved procedures. The proposed method should be used to solve the problems of evaluating complex and dynamic processes in the interests of solving national security problems.

Keywords: multi-extremal functions, decision support systems, emperor penguin algorithm, optimization.

References

1. Bashkyrov, O. M., Kostyna, O. M., Shyshatskyi, A. V. (2015). Rozvytok intehrovanykh system zviazku ta peredachi danykh dlia potreb Zbroinykh Syl. *Ozbroienna ta viyskova tekhnika*, 1, 35–39. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt_2015_1_7
2. Dudnyk, V., Sinenko, Y., Matsyk, M., Demchenko, Y., Zhyvotovskiy, R., Repilo, I. et al. (2020). Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (105)), 37–47. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
3. Sova, O., Shyshatskyi, A., Salnikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., Hrokholskyi, Y. (2021). Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 30–40. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>
4. Pievtsov, H., Turinskyi, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., Shyshatskyi, A. (2020). Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 78–89. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>
5. Zuiev, P., Zhyvotovskiy, R., Zvieriev, O., Hatsenko, S., Kuprii, V., Nakonechnyi, O. et al. (2020). Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (106)), 14–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>
6. 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/ijetae0521_05
8. Rotshteyn, A. P. (1999). *Intellektual'nye tekhnologii identifikatsii: nechetkie mnozhestva, geneticheskie algoritmy, neyronnye seti*. Vinitsa: «UNIVERSUM», 320.
 9. Alpeeva, E. A., Volkova, I. I. (2019). The use of fuzzy cognitive maps in the development of an experimental model of automation of production accounting of material flows. *Russian Journal of Industrial Economics*, 12 (1), 97–106. doi: <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2019-1-97-106>
 10. 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. *Sistemnyi 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. Dhiman, G., Kumar, V. (2018). Emperor penguin optimizer: A bio-inspired algorithm for engineering problems. *Knowledge-Based Systems*, 159, 20–50. doi: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2018.06.001>
 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., 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: 10.15587/1729-4061.2023.292574
DEVELOPMENT OF A SOLUTION SEARCH METHOD USING AN ADVANCED FLYING SQUIRREL ALGORITHM (p. 14–22)

Oleg Sova

The National University of Defense of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7200-8955>

Oleksandr Zhuk

The National University of Defense of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3546-1507>

Oksana Petruchenko

Scientific-Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2304-8149>

Yurii Artabaiev

Research Center for Trophy and Perspective Weapons and Military Equipment, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9446-3011>

Oleksandr Trotsko

Military Institute of Telecommunications and Information Technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7535-5023>

Olena Shaposhnikova

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

Ruslan Boiko

The National University of Defense of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7240-4299>

Yevhenii Redziuk

Military Institute of Telecommunications and Information Technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5592-5121>

Viacheslav Shmyhol

Military Institute of Telecommunications and Information Technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7473-1506>

Vira Velychko

Military Institute of Telecommunications and Information Technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9654-4560>

The object of the study is decision support systems. The subject of the study is the decision-making process in management problems using the flying squirrel algorithm (FSA), an advanced genetic algorithm and evolving artificial neural networks.

A solution search method using an advanced FSA is proposed. The study is based on the FSA algorithm for finding a solution regarding the state of an object. Evolving artificial neural networks are used to train FSA, and an advanced genetic algorithm is used

to select the best FSA. The method has the following sequence of actions. Input of initial data and setting agents on the search plane take place. After that, numbering FSA in the flock and setting the initial fitness function are carried out. Then, the quality of food in the FSA search area is determined, and the classification of trees (food sources) for FSA is carried out. The next step is the creation of new locations by FSA gliding, formation of the FSA action algorithm in the presence of a predator. After that, the FSA seasonal monitoring conditions are checked, the stop criterion is checked, and new FSA positions are generated taking into account the degree of data noise.

The originality of the proposed method lies in setting FSA taking into account the uncertainty of the initial data, advanced global and local search procedures taking into account the noise degree of data on the state of the analysis object. The method makes it possible to increase the efficiency of data processing at the level of 21–25 % due to the use of additional advanced procedures. The proposed method should be used to solve the problems of evaluating complex and dynamic processes in the interests of solving national security problems.

Keywords: decision support systems, global optimization, complex processes, bio-inspired algorithms.

References

- Bashkyrov, O. M., Kostyna, O. M., Shyshatskyi, A. V. (2015). Rozvytok intehrovanykh system zviazku ta peredachi danykh dlia potreb Zbroinykh Syl. *Ozbroienna 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
8. Rotshteyn, A. P. (1999). *Intellectual'nye tekhnologii identifikatsii: nechetkie mnozhestva, geneticheskie algoritmy, neyronnye seti*. Vinnytsa: «UNIVERSUM», 320.
 9. Ko, Y.-C., Fujita, H. (2019). An evidential analytics for buried information in big data samples: Case study of semiconductor manufacturing. *Information Sciences*, 486, 190–203. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.079>
 10. 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>
 11. 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>
 12. 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>
 13. 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>
 14. 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>
 15. 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>
 16. 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>
 17. 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)
 18. 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>
 19. Jain, M., Singh, V., Rani, A. (2019). A novel nature-inspired algorithm for optimization: Squirrel search algorithm. *Swarm and Evolutionary Computation*, 44, 148–175. doi: <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2018.02.013>
 20. 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>
 21. 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>
 22. 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>
 23. 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>
 24. 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>
 25. 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>
 26. 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>
 27. 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>
 28. 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>
 29. 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>
 30. 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>
 31. 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>
 32. Wang, L., Shi, Y., Liu, S. (2015). An improved fruit fly optimization algorithm and its application to joint replenishment problems. *Expert Systems with Applications*, 42 (9), 4310–4323. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.01.048>
 33. Yuan, X., Dai, X., Zhao, J., He, Q. (2014). On a novel multi-swarm fruit fly optimization algorithm and its application. *Applied Mathematics and Computation*, 233, 260–271. doi: <https://doi.org/10.1016/j.amc.2014.02.005>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.293675

**THE DEVELOPMENT OF METHOD FOR
INCREASING THE DECISION MAKING EFFICIENCY
IN ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL
SYSTEMS (p. 23–31)**

Oleksandr Lytvynenko

Military Institute of Taras Shevchenko
National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6541-3621>

Robert Bieliakov

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

Yuliia Vakulenko

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6315-0116>

Volodymyr Hrinkov

Kruty Heroes Military Institute of Telecommunications
and Information Technology, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9574-3792>

Borys Pokhodenko

Kharkiv National Automobile
and Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9995-7077>

Sergey Boiko

Scientific-Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3016-0422>

Viacheslav Kanishov

Kharkiv National Automobile
and Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8200-930X>

Yevhenii Drozdyk

Kharkiv National Automobile
and Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0036-1194>

Yevhenii Kovtun

Kharkiv National Automobile
and Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4109-7297>

Dmitry Leinyk

Scientific-Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5008-8837>

The object of research is decision making processes in decision making support systems. The subject of the research is a method of decision making in management tasks using the walrus flock algorithm (WA), an advanced genetic algorithm and evolving artificial neural networks.

A method of finding solutions using an improved walrus flock algorithm is proposed. The research is based on the walrus flock algorithm for finding a solution to the object's condition. Evolving artificial neural networks are used to train walrus agents and an advanced genetic algorithm is used to select the best walrus agents. The method has the following sequence of actions:

- input of initial data;
- WA numbering in the flock;
- determination of the initial speed of WA;
- display of WA along the search plane;

- preliminary assessment of the WA search area;
- classification of food sources for WA;
- sorting of the best WA individuals;
- an update of WA positions;
- WA migration;
- checking the presence of a predator;
- checking the stop criterion;
- escape and struggle with predators;
- checking the stop criterion;
- training of WA knowledge bases;
- determination of the amount of necessary computing resources, intelligent decision making support system.

The originality of the proposed method lies in the placement of WA taking into account the uncertainty of the initial data, improved procedures of global and local edge taking into account the degree of noise of data on the state of organizational and technical systems. The use of the method makes it possible to increase the efficiency of data processing at the level 13–16 % due to the use of additional improved procedures. The proposed method should be used to solve problems of evaluating complex and dynamic processes.

Keywords: organizational and technical systems, decision making support systems, complex processes, optimization tasks.

References

1. Bashkyrov, O. M., Kostyna, O. M., Shyshatskyi, A. V. (2015). Rozvytok intehrovanykh system zviazku ta peredachi danykh dlia potreb Zbroinykh Syl. Ozbroienna ta viyskova tekhnika, 1, 35–39. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt_2015_1_7
2. Dudnyk, V., Sinenko, Y., Matsyk, M., Demchenko, Y., Zhyvotovskiy, R., Repilo, I. et al. (2020). Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (2 (105)), 37–47. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
3. Sova, O., Shyshatskyi, A., Salnikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., Hrokholskyi, Y. (2021). Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment. EUREKA: Physics and Engineering, 4, 30–40. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>
4. Pievtsov, H., Turinskyi, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., Shyshatskyi, A. (2020). Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. EUREKA: Physics and Engineering, 4, 78–89. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>
5. Zuiev, P., Zhyvotovskiy, R., Zvieriev, O., Hatsenko, S., Kuprii, V., Nakonechnyi, O. et al. (2020). Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (9 (106)), 14–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>
6. Shyshatskyi, A. (2020). Complex Methods of Processing Different Data in Intellectual Systems for Decision Support System. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, 9 (4), 5583–5590. doi: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/206942020>
7. Yeromina, N., Kurban, V., Mykus, S., Peredrii, O., Voloshchenko, O., Kosenko, V. et al. (2021). The Creation of the Database for Mobile Robots Navigation under the Conditions of Flexible Change of Flight Assignment. International Journal of Emerging Technology

- and *Advanced Engineering*, 11 (5), 37–44. doi: https://doi.org/10.46338/ijetae0521_05
8. Rotshteyn, A. P. (1999). *Intellectual'nye tekhnologii identifikatsii: nechetkie mnozhestva, geneticheskie algoritmy, neyronnye seti*. Vinnytsa: «UNIVERSUM», 320.
 9. Simankov, V. S., Putyato, M. M. (2013). *Issledovanie metodov kognitivnogo analiza. Sistemnyi analiz, upravlenie i obrabotka informatsii*, 13, 31–35.
 10. 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>
 11. 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>
 12. 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>
 13. 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>
 14. 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>
 15. 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>
 16. 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>
 17. 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>
 18. 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)
 19. 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>
 20. Han, M., Du, Z., Yuen, K. F., Zhu, H., Li, Y., Yuan, Q. (2024). Walrus optimizer: A novel nature-inspired metaheuristic algorithm. *Expert Systems with Applications*, 239, 122413. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122413>
 21. 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>
 22. 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>
 23. 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>
 24. 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>
 25. 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>
 26. 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>
 27. 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>
 28. 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>
 29. 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>
 30. Stepanenko, A., Oliinyk, A., Deineha, L., Zaiko, T. (2018). Development of the method for decomposition of superpositions of unknown pulsed signals using the secondorder adaptive spectral analysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (92)), 48–54. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126578>
 31. 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>
 32. 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>
 33. Wang, L., Shi, Y., Liu, S. (2015). An improved fruit fly optimization algorithm and its application to joint replenishment problems. *Expert Systems with Applications*, 42 (9), 4310–4323. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.01.048>
 34. Yuan, X., Dai, X., Zhao, J., He, Q. (2014). On a novel multi-swarm fruit fly optimization algorithm and its application. *Applied*

Mathematics and Computation, 233, 260–271. doi: <https://doi.org/10.1016/j.amc.2014.02.005>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.292849
DEVELOPMENT OF A NEURAL NETWORK MODEL FOR TRAINING DATA ON THE EFFECTS OF PHOSPHORUS ON SPRING WHEAT GROWTH (p. 32–38)

Saltanat Sharipova

S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7267-3261>

Akerke Akanova

S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7178-2121>

Nazira Ospanova

Toraighyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0100-1008>

A neural network was developed to predict the effect of phosphorus on spring wheat yields. The focus is on the neural network, including its structure, parameters, training methods and results related to phosphorus effects on spring wheat yields. An algorithm for developing a neural network model is also presented.

The study was conducted to address the critical need for developing a neural network to predict the effect of phosphorus on spring wheat yields in the Republic of Kazakhstan.

For data analysis, input data were used that cover the period from 2012 to 2022, including climatic indicators, regional features and phosphorus application. The target variable is spring wheat yield. To ensure the accuracy of the study, the data were preprocessed and standardized, and an outlier and variance analysis was performed. The developed neural network was trained and tested to obtain the best results. The mean squared error was used as a metric for evaluating the quality of forecasting. Additionally, indicators such as mean absolute error and coefficient of determination were considered.

The results of the study showed an MSE of 7.12, indicating that the model agrees well with the data and makes accurate predictions, which also suggests its practical relevance. The correlation analysis of the features showed that phosphorus application and spring wheat yield have a positive relationship. These results can be very useful for agriculture and farming enterprises, as they allow optimizing phosphorus application to the soil and increasing wheat yields.

Keywords: neural network forecasting model, yield forecasting, phosphorus data, neural networks.

References

- Nedic, V., Despotovic, D., Cvetanovic, S., Despotovic, M., Babic, S. (2014). Comparison of classical statistical methods and artificial neural network in traffic noise prediction. *Environmental Impact Assessment Review*, 49, 24–30. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.06.004>
- Hasanzadehshooili, H., Lakirouhani, A., Medzvieckas, J. (2012). Superiority of artificial neural networks over statistical methods in prediction of the optimal length of rock bolts. *Journal of Civil Engineering and Management*, 18 (5), 655–661. doi: <https://doi.org/10.3846/13923730.2012.724029>
- Akanova, A., Ospanova, N., Sharipova, S., Mauina, G., Abdugulova, Z. (2022). Development of a thematic and neural network model for data learning. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (2 (118)), 40–50. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263421>
- Zhang, L., Huang, Z., Liu, W., Guo, Z., Zhang, Z. (2021). Weather radar echo prediction method based on convolution neural network and Long Short-Term memory networks for sustainable e-agriculture. *Journal of Cleaner Production*, 298, 126776. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126776>
- Rodríguez, S., Gualotuña, T., Grilo, C. (2017). A System for the Monitoring and Predicting of Data in Precision Agriculture in a Rose Greenhouse Based on Wireless Sensor Networks. *Procedia Computer Science*, 121, 306–313. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.11.042>
- Aggarwal, P., Shirsath, P., Vyas, S., Arumugam, P., Goroshi, S., Aravind, S. et al. (2020). Application note: Crop-loss assessment monitor – A multi-model and multi-stage decision support system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 175, 105619. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105619>
- Kansiime, M. K., Rwomushana, I., Mugambi, I., Makale, F., Lamontagne-Godwin, J., Chacha, D. et al. (2020). Crop losses and economic impact associated with papaya mealybug (*Paracoccus marginatus*) infestation in Kenya. *International Journal of Pest Management*, 69 (2), 150–163. doi: <https://doi.org/10.1080/09670874.2020.1861363>
- Zhang, Q., Wang, K., Han, Y., Liu, Z., Yang, F., Wang, S. et al. (2022). A crop variety yield prediction system based on variety yield data compensation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 203, 107460. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107460>
- Murakami, K., Shimoda, S., Kominami, Y., Nemoto, M., Inoue, S. (2021). Prediction of municipality-level winter wheat yield based on meteorological data using machine learning in Hokkaido, Japan. *PLOS ONE*, 16 (10), e0258677. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258677>
- Tian, H., Wang, P., Tansey, K., Zhang, J., Zhang, S., Li, H. (2021). An LSTM neural network for improving wheat yield estimates by integrating remote sensing data and meteorological data in the Guanzhong Plain, PR China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 310, 108629. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108629>
- Sharma, S., Kaur, G., Singh, P., Alamri, S., Kumar, R., Siddiqui, M. H. (2022). Nitrogen and potassium application effects on productivity, profitability and nutrient use efficiency of irrigated wheat (*Triticum aestivum* L.). *PLOS ONE*, 17 (5), e0264210. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264210>
- Alvarez, R., De Paepe, J. L., Gimenez, A., Recondo, V., Pagnanini, E., Mendoza, M. R. et al. (2019). Using a nitrogen mineralization index will improve soil productivity rating by artificial neural networks. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66 (4), 517–531. doi: <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1626984>
- Alvarez, R., Steinbach, H. S. (2017). Modeling Soil Test Phosphorus Changes under Fertilized and Unfertilized Managements Using Artificial Neural Networks. *Agronomy Journal*, 109 (5), 2278–2290. doi: <https://doi.org/10.2134/agronj2017.01.0014>
- Niedbała, G., Nowakowski, K., Rudowicz-Nawrocka, J., Piekutowska, M., Weres, J., Tomczak, R. J. et al. (2019). Multicriteria Prediction and Simulation of Winter Wheat Yield Using Extended Qualitative and Quantitative Data Based on Artificial Neural Networks. *Applied Sciences*, 9 (14), 2773. doi: <https://doi.org/10.3390/app9142773>

15. Maya Gopal, P. S., Bhargavi, R. (2019). A novel approach for efficient crop yield prediction. *Computers and Electronics in Agriculture*, 165, 104968. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104968>
16. Tang, X., Liu, H., Feng, D., Zhang, W., Chang, J., Li, L., Yang, L. (2022). Prediction of field winter wheat yield using fewer parameters at middle growth stage by linear regression and the BP neural network method. *European Journal of Agronomy*, 141, 126621. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126621>
17. Pantazi, X. E., Moshou, D., Alexandridis, T., Whetton, R. L., Mouazen, A. M. (2016). Wheat yield prediction using machine learning and advanced sensing techniques. *Computers and Electronics in Agriculture*, 121, 57–65. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.11.018>
18. Han, J., Zhang, Z., Cao, J., Luo, Y., Zhang, L., Li, Z., Zhang, J. (2020). Prediction of Winter Wheat Yield Based on Multi-Source Data and Machine Learning in China. *Remote Sensing*, 12 (2), 236. doi: <https://doi.org/10.3390/rs12020236>
19. Bureau of National Statistics. Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan. Available at: <https://stat.gov.kz/en/>
20. National Hydrometeorological Service of Kazakhstan. Available at: <https://www.kazhydromet.kz/en/>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.293011

DEVELOPMENT OF AN ADVANCED AI-BASED MODEL FOR HUMAN PSYCHOEMOTIONAL STATE ANALYSIS (p. 39–49)

Zharas Ainakulov

Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0221-3387>

Kayrat Koshekov

Civil Aviation Academy, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9586-2310>

Alexey Savostin

M. Kozybayev North Kazakhstan University,
Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5057-2942>

Raziyam Anayatova

Civil Aviation Academy, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5138-7581>

Beken Seidakhmetov

Civil Aviation Academy, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6091-4152>

Gulzhan Kurmankulova

Kazakh National Agrarian Research University,
Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1172-2394>

The research focuses on developing a novel method for the automatic recognition of human psychoemotional states (PES) using deep learning technology. This method is centered on analyzing speech signals to classify distinct emotional states. The primary challenge addressed by this research is to accurately perform multiclass classification of seven human psychoemotional states, namely joy, fear, anger, sadness, disgust, surprise, and a neutral state. Traditional methods have struggled to accurately distinguish these complex emotional nuances in speech. The study successfully

developed a model capable of extracting informative features from audio recordings, specifically mel spectrograms and mel-frequency cepstral coefficients. These features were then used to train two deep convolutional neural networks, resulting in a classifier model. The uniqueness of this research lies in its use of a dual-feature approach and the employment of deep convolutional neural networks for classification. This approach has demonstrated high accuracy in emotion recognition, with an accuracy rate of 0.93 in the validation subset. The high accuracy and effectiveness of the model can be attributed to the comprehensive and synergistic use of mel spectrograms and mel-frequency cepstral coefficients, which provide a more nuanced analysis of emotional expressions in speech. The method presented in this research has broad applicability in various domains, including enhancing human-machine interface interactions, implementation in the aviation industry, healthcare, marketing, and other fields where understanding human emotions through speech is crucial.

Keywords: speech emotion recognition, deep learning in SER, MEL spectrogram, MFCC analysis, audio signal processing, emotional classification, acoustic features, machine learning, emotion detection, psycholinguistics.

References

1. Semigina, T., Vysotska, Z., Kyianytsia, I., Kotlova, L., Shostak, I., Kichuk, A. (2021). Psycho-Emotional State Of Students: Research And Regulation. *Studies of Applied Economics*, 38 (4). doi: <https://doi.org/10.25115/eea.v38i4.4049>
2. Amirgaliyev, Y. N., Bukenova, I. N. (2021). Recognition of a psychoemotional state based on video surveillance: review. *Journal of Mathematics, Mechanics and Computer Science*, 112 (4). doi: <https://doi.org/10.26577/jmmcs.2021.v112.i4.11>
3. Alharbi, S., Alrazgan, M., Alrashed, A., Alnomasi, T., Almojel, R., Alharbi, R. et al. (2021). Automatic Speech Recognition: Systematic Literature Review. *IEEE Access*, 9, 131858–131876. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2021.3112535>
4. Khare, S. K., Blanes-Vidal, V., Nadimi, E. S., Acharya, U. R. (2024). Emotion recognition and artificial intelligence: A systematic review (2014–2023) and research recommendations. *Information Fusion*, 102, 102019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2023.102019>
5. Jwaid, W. M., Al-Husseini, Z. S. M., Sabry, A. H. (2021). Development of brain tumor segmentation of magnetic resonance imaging (MRI) using U-Net deep learning. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (112)), 23–31. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.238957>
6. Lu, X. (2022). Deep Learning Based Emotion Recognition and Visualization of Figural Representation. *Frontiers in Psychology*, 12. doi: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.818833>
7. Ahmed, N., Aghbari, Z. A., Girija, S. (2023). A systematic survey on multimodal emotion recognition using learning algorithms. *Intelligent Systems with Applications*, 17, 200171. doi: <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2022.200171>
8. Nosov, P., Zinchenko, S., Ben, A., Prokopchuk, Y., Mamenko, P., Popovych, I. et al. (2021). Navigation safety control system development through navigator action prediction by data mining means. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (110)), 55–68. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229237>
9. de Lope, J., Graña, M. (2023). An ongoing review of speech emotion recognition. *Neurocomputing*, 528, 1–11. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2023.01.002>

10. Costantini, G., Parada-Cabaleiro, E., Casali, D., Cesarini, V. (2022). The Emotion Probe: On the Universality of Cross-Linguistic and Cross-Gender Speech Emotion Recognition via Machine Learning. *Sensors*, 22 (7), 2461. doi: <https://doi.org/10.3390/s22072461>
11. Chen, P., Wu, L., Wang, L. (2023). AI Fairness in Data Management and Analytics: A Review on Challenges, Methodologies and Applications. *Applied Sciences*, 13 (18), 10258. doi: <https://doi.org/10.3390/app131810258>
12. Bankins, S., Formosa, P. (2023). The Ethical Implications of Artificial Intelligence (AI) For Meaningful Work. *Journal of Business Ethics*, 185 (4), 725–740. doi: <https://doi.org/10.1007/s10551-023-05339-7>
13. 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>
14. Cai, Y., Li, X., Li, J. (2023). Emotion Recognition Using Different Sensors, Emotion Models, Methods and Datasets: A Comprehensive Review. *Sensors*, 23 (5), 2455. doi: <https://doi.org/10.3390/s23052455>
15. Coretta, S., Casillas, J. V., Roettger, T. B. (2022). Multidimensional signals and analytic flexibility: Estimating degrees of freedom in human speech analyses. doi: <https://doi.org/10.31234/osf.io/q8t2k>
16. Vakkantula, P. C. (2020). Speech Mode Classification using the Fusion of CNNs and LSTM Networks. West Virginia University. doi: <https://doi.org/10.33915/etd.7845>
17. Brownlee, J. (2021). Gentle Introduction to the Adam Optimization Algorithm for Deep Learning. *Machine Learning Mastery*. Available at: <https://machinelearningmastery.com/adam-optimization-algorithm-for-deep-learning/>
18. Hashem, A., Arif, M., Alghamdi, M. (2023). Speech emotion recognition approaches: A systematic review. *Speech Communication*, 154, 102974. doi: <https://doi.org/10.1016/j.specom.2023.102974>
19. Chauhan, C., Parida, V., Dhir, A. (2022). Linking circular economy and digitalisation technologies: A systematic literature review of past achievements and future promises. *Technological Forecasting and Social Change*, 177, 121508. doi: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121508>
20. Kamath, U., Liu, J., Whitaker, J. (2019). *Deep Learning for NLP and Speech Recognition*. Springer International Publishing. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-14596-5>
21. Ekman, P. (1971). Universals and cultural differences in facial expressions of emotion. *Nebraska Symposium on Motivation*, 19, 207–283.
22. Rabiner, L. R., Schafer, R. W. (2007). Introduction to Digital Speech Processing. *Foundations and Trends® in Signal Processing*, 1 (1-2), 1–194. doi: <https://doi.org/10.1561/2000000001>
23. Livingstone, S. R., Russo, F. A. (2018). The Ryerson Audio-Visual Database of Emotional Speech and Song (RAVDESS): A dynamic, multimodal set of facial and vocal expressions in North American English. *PLOS ONE*, 13 (5), e0196391. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196391>
24. Haq, S., Jackson, P. J. B. (2009). Speaker-Dependent Audio-Visual Emotion Recognition. In *Proc. Int'l Conf. on Auditory-Visual Speech Processing*, 53–58.
25. Pichora-Fuller, M. K., Dupuis, K. (2020). Toronto emotional speech set (TESS). doi: <https://doi.org/10.5683/SP2/E8H2MF>
26. Zhou, K., Sisman, B., Liu, R., Li, H. (2021). Seen and Unseen Emotional Style Transfer for Voice Conversion with A New Emotional Speech Dataset. *ICASSP 2021 - 2021 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*. doi: <https://doi.org/10.1109/icassp39728.2021.9413391>
27. Zwicker, E., Fastl, H. (1999). *Psychoacoustics. Facts and Models*. Springer-Verlag, 417. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-09562-1>
28. Davis, S., Mermelstein, P. (1980). Comparison of parametric representations for monosyllabic word recognition in continuously spoken sentences. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 28 (4), 357–366. doi: <https://doi.org/10.1109/tassp.1980.1163420>
29. Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press. Available at: <https://www.deeplearningbook.org/>
30. Sundgren, D., Rahmani, R., Larsson, A., Moran, A., Bonet, I. (2015). Speech emotion recognition in emotional feedback for Human-Robot Interaction. *International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence*, 4 (2). doi: <https://doi.org/10.14569/ijarai.2015.040204>
31. Martin, O., Kotsia, I., Macq, B., Pitas, I. (2006). The eNTERFACE'05 Audio-Visual Emotion Database. *22nd International Conference on Data Engineering Workshops (ICDEW'06)*. doi: <https://doi.org/10.1109/icdew.2006.145>
32. Koshekov, K. T., Savostin, A. A., Seidakhmetov, B. K., Anayatova, R. K., Fedorov, I. O. (2021). Aviation Profiling Method Based on Deep Learning Technology for Emotion Recognition by Speech Signal. *Transport and Telecommunication Journal*, 22 (4), 471–481. doi: <https://doi.org/10.2478/ttj-2021-0037>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.291008

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПОШУКУ РІШЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ УДОСКОНАЛЕНОГО АЛГОРИТМУ ІМПЕРАТОРСЬКИХ ПІНГВІНІВ (с. 6–13)**А. В. Шишацький, О. М. Романов, О. В. Шкнай, В. О. Бабенко, О. А. Кошлянь, В. В. Кривошеєв, А. В. Білецька, Т. В. Пługина, Т. О. Стасюк, С. О. Кашкевич**

Об'єктом дослідження є системи підтримки прийняття рішень. Предметом дослідження є процес прийняття рішення в задачах управління за допомогою алгоритму імператорських пінгвінів (АПП), удосконаленого генетичного алгоритму та штучних нейронних мереж, що еволюціонують. Запропоновано методику пошуку рішень з використанням удосконаленого АПП. В основу дослідження покладений алгоритм АПП – для пошуку рішення щодо стану об'єкту. Для навчання АПП використовуються штучні нейронні мережі, що еволюціонують, а для відбору найкращих АПП використовується удосконалений генетичний алгоритм. Методика має наступну послідовність дій:

- введення вихідних даних;
- виставлення агентів по площині пошуку;
- нумерація АПП в зграї;
- задання початкової швидкості АПП та теплового випромінювання кожного АПП;
- розрахунок становища кожного АПП на загальній площі пошуку та його вартості;
- наближення (тяжіння) АПП до іншого АПП;
- зміна траєкторії руху АПП;
- відбір кращих особин зі зграї АПП;
- ранжування отриманих рішень та їх сортування;
- навчання баз знань АПП;
- визначення кількості необхідних обчислювальних ресурсів інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень.

Оригінальність запропонованої методики полягає у розставленні АПП з урахуванням невизначеності вихідних даних, удосконаленими процедурами глобального та локального пошуку з урахуванням ступеню зашумленості даних про стан об'єкту аналізу. Використання методики дозволяє досягти підвищення оперативності обробки даних на рівні 13–17 % за рахунок використання додаткових удосконалених процедур. Запропоновану методику доцільно використовувати для вирішення задач оцінки складних та динамічних процесів в інтересах вирішення завдань національної безпеки.

Ключові слова: багатоекстремальні функції, системи підтримки прийняття рішень, алгоритм імператорських пінгвінів, оптимізація.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.292574

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПОШУКУ РІШЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ УДОСКОНАЛЕНОГО АЛГОРИТМУ БЛОК ЛЕТАГ (с. 14–22)**О. Я. Сова, О. В. Жук, О. С. Петрученко, Ю. З. Артабасв, О. О. Троцько, О. П. Шапошнікова, Р. В. Бойко, Є. В. Редзюк, В. С. Шмиголь, В. П. Величко**

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

Запропоновано методику пошуку рішень з використанням удосконаленого АБЛ. В основу дослідження покладений алгоритм АБЛ – для пошуку рішення щодо стану об'єкту. Для навчання АБЛ використовуються штучні нейронні мережі, що еволюціонують, а для відбору найкращих АБЛ використовується удосконалений генетичний алгоритм. Методика має наступну послідовність дій. Відбувається введення вихідних даних та виставлення агентів по площині пошуку. Після чого здійснюється нумерація АБЛ в зграї та виставлення початкової фітнес-функції. Далі визначається якість їжі в районі пошуку АБЛ та здійснюється класифікація дерев (джерел їжі) для АБЛ. Наступним кроком є створення нових місць за допомогою ковзання АБЛ, формування алгоритму дій АБЛ при наявності хижака. Після чого перевіряються умови сезонного моніторингу АБЛ, перевіряється критерій зупинки, та генеруються нові позиції АБЛ з урахуванням ступеню зашумленості даних.

Оригінальність запропонованої методики полягає у розставленні АБЛ з урахуванням невизначеності вихідних даних, удосконаленими процедурами глобального та локального пошуку з урахуванням ступеню зашумленості даних про стан об'єкту аналізу. Використання методики дозволяє досягти підвищення оперативності обробки даних на рівні 21–25 % за рахунок використання додаткових удосконалених процедур. Запропоновану методику доцільно використовувати для вирішення задач оцінки складних та динамічних процесів в інтересах вирішення завдань національної безпеки.

Ключові слова: системи підтримки прийняття рішень, глобальна оптимізація, складні процеси, біоінспіровані алгоритми.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.293675

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ (с. 23–31)**О. І. Литвиненко, Р. О. Беляков, Ю. В. Вакулєнко, В. О. Грінков, Б. О. Походєнко, С. А. Бойко, В. І. Канішов, Є. В. Дроздик, Є. С. Ковтун, Д. М. Лейник**

Об'єктом дослідження є процеси прийняття рішень в системах підтримки прийняття рішень. Предметом дослідження є метод прийняття рішення в задачах управління за допомогою алгоритму зграї моржів (АМ), удосконаленого генетичного алгоритму та штучних нейронних мереж, що еволюціонують. Запропоновано методику пошуку рішень з використанням удосконаленого алгоритму

грі моржів. В основу дослідження покладений алгоритм зграї моржів – для пошуку рішення щодо стану об'єкту. Для навчання агентів моржів – використовуються штучні нейронні мережі, що еволюціонують, а для відбору найкращих агентів моржів використовується удосконалений генетичний алгоритм. Методика має наступну послідовність дій:

- введення вихідних даних;
- нумерація АМ в зграї;
- визначення початкової швидкості АМ;
- виставлення АМ по площині пошуку;
- попереднє оцінювання ділянки пошуку АМ;
- класифікація джерел їжі для АМ;
- сортування найкращих особин АМ;
- оновлення позицій АМ;
- міграція АМ;
- перевірка наявності хижака;
- перевірка критерію зупинки;
- втеча та боротьба з хижаками;
- перевірка критерію зупинки;
- навчання баз знань АМ;
- визначення кількості необхідних обчислювальних ресурсів, інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень.

Оригінальність запропонованої методики полягає у розставленні АМ урахуванням невизначеності вихідних даних, удосконаленими процедурами глобального та локального опущку з урахуванням ступеню зашумленості даних про стан організаційно-технічних систем. Використання методики дозволяє досягти підвищення оперативності обробки даних на рівні 13–16 % за рахунок використання додаткових удосконалених процедур. Запропоновану методику доцільно використовувати для вирішення задач оцінки складних та динамічних процесів.

Ключові слова: організаційно-технічні системи, системи підтримки прийняття рішень, складні процеси, оптимізаційні завдання.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.292849

РОЗРОБКА НЕЙРОМЕРЕЖЕВОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ ФОСФОРУ НА ВРОЖАЙНІСТЬ ЯРОЇ ПШЕНИЦІ (с. 32–38)

Saltanat Sharipova, Akerke Akanova, Nazira Osanova

Розроблено нейронну мережу для прогнозування впливу фосфору на врожайність ярої пшениці. Основна увага приділяється нейронній мережі, включаючи її структуру, параметри, методи навчання та результати, пов'язані з впливом фосфору на врожайність ярої пшениці. А також представлений алгоритм розробки моделі нейронної мережі.

Дослідження було проведено з метою задоволення критичної потреби у розробці нейронної мережі для прогнозування впливу фосфору на врожайність ярої пшениці в Республіці Казахстан.

Для аналізу даних були використані вхідні дані, що охоплюють період з 2012 по 2022 рік, включаючи кліматичні показники, регіональні особливості та внесення фосфору. Цільовою змінною є врожайність ярої пшениці. Для забезпечення точності дослідження дані були попередньо оброблені та стандартизовані, а також було проведено аналіз викидів та відхилень. Розроблена нейронна мережа була навчена і протестована до отримання кращих результатів. В якості метрики оцінки якості прогнозування була використана середньоквадратична помилка (Mean Squared Error). Додатково були розглянуті такі показники, як середня абсолютна помилка та коефіцієнт детермінації.

Результати дослідження показали MSE у розмірі 7.12, що вказує на те, що модель добре узгоджується з даними та робить точні прогнози, що також свідчить про його практичну значимість. Кореляційний аналіз ознак показав, що внесення фосфору та врожайність ярої пшениці мають позитивну залежність. Ці результати можуть бути дуже корисними для сільського господарства та аграрних підприємств, оскільки дозволяють оптимізувати внесення фосфору в ґрунт і підвищити врожайність пшениці.

Ключові слова: нейромережева модель прогнозування, прогнозування врожайності, дані про фосфор, нейронні мережі.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.293011

РОЗРОБКА ПЕРЕДОВОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ АНАЛІЗУ ПСИХОЕМОЦІЙНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ (с. 39–49)

Zharas Ainakulov, Kairat Koshekov, Alexey Savostin, Raziya Anayatova, Beken Seidakhmetov, Gulzhan Kurmankulova

Дослідження зосереджено на розробці нового методу автоматичного розпізнавання психоемоційних станів людини (ПСЛ) за допомогою технології глибокого навчання. Цей метод зосереджений на аналізі мовних сигналів для класифікації різних емоційних станів. Основним завданням цього дослідження є точна багатокласова класифікація семи психоемоційних станів людини, а саме радості, страху, гніву, смутку, огиди, здивування та нейтрального стану. Традиційні методи намагалися точно розрізнити ці складні емоційні нюанси в мові. Дослідження успішно розробило модель, здатну витягувати інформативні характеристики з аудіозаписів, зокрема мел-спектрограми та мел-частотні кепстральні коефіцієнти. Потім ці функції були використані для навчання двох глибоких згорткових нейронних мереж, що призвело до створення моделі класифікатора. Унікальність цього дослідження полягає у використанні подвійного підходу та використанні глибоких згорткових нейронних мереж для класифікації. Цей підхід продемонстрував високу точність у розпізнаванні емоцій із показником точності 0,93 у підмножині перевірки. Високу точність і ефективність моделі можна пояснити комплексним і синергетичним використанням мел-спектрограм і мел-частотних кепстральних коефіцієнтів, які забезпечують детальніший аналіз емоційних проявів у мовленні. Метод, представлений у цьому дослідженні, має широке застосування в різних сферах, у тому числі для покращення взаємодії між людино-машинними інтерфейсами, впровадження в авіаційній промисловості, охороні здоров'я, маркетингу та інших сферах, де розуміння людських емоцій через мову має вирішальне значення.

Ключові слова: розпізнавання мовних емоцій, глибинне навчання в розпізнаванні мовних емоцій, спектрограма MEL, аналіз MFCC, обробка звукових сигналів, емоційна класифікація, акустичні особливості, машинне навчання, виявлення емоцій, психолінгвістика.