

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298205
DEVELOPMENT OF A SOLUTION SEARCH
METHOD USING A COMBINED BIO-INSPIRED
ALGORITHM (p. 6–13)

Khudhair Abed Thamer

Al-Maarif University College, Karbala, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1575-2294>

Oleg Sova

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

Olena Shaposhnikova

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

Volodymyr Yashchenok

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

Iraida Stanovska

Odesa Polytechnic National University, Odesa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5884-4228>

Serhii Shostak

National University of Life and
 Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1234-1024>

Oleksandr Rudenko

National University
 «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7110-0653>

Serhii Petruk

Central Scientifically-Research Institute of Armaments and
 Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0709-0032>

Olha Matsyi

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1350-9418>

Svitlana Kashkevich

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

The object of the study is decision support systems. The subject of the study is the decision-making process in management problems using a combined bio-inspired algorithm, consisting of:

- the improved wolf optimization algorithm and the improved sparrow search algorithm – for solving optimization problems regarding the object state;
- an advanced genetic algorithm – for selecting the best agents in flocks;
- an advanced training method – for deep training of agents to improve the optimization characteristics of agents.

A solution search method using an improved bio-inspired algorithm is proposed. The method has the following sequence of actions:

- input of initial data;
- initialization of the search for a flock of sparrows and its parameters;
- ranking and selection of sparrow agents using an advanced genetic algorithm;
- updating the sparrow location for the discoverer;

- checking the conditions for updating the position of sparrows;
- initialization of additional search parameters;
- running the gray wolf optimization algorithm;
- training agents' knowledge bases;
- determining the amount of necessary computing resources of the intelligent decision support system.

The originality of the proposed method lies in the combined use of bio-inspired algorithms, setting agents taking into account the uncertainty of the initial data, advanced global and local search procedures. The method makes it possible to increase the efficiency of data processing at the level of 19 % using additional improved procedures. The proposed method should be used to solve the problems of evaluating complex and dynamic processes in the interest of solving national security problems.

Keywords: optimization, complex technical systems, sparrow search algorithm, wolf optimization algorithm.

References

1. Bashkyrov, O. M., Kostyna, O. M., Shyshatskyi, A. V. (2015). Rozvytok integrovanykh 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. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
3. Sova, O., Shyshatskyi, A., Salmikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., Hroholskiy, Y. (2021). Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment. EUREKA: Physics and Engineering, 4, 30–40. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>
4. Pievtsov, H., Turinskyi, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., Shyshatskyi, A. (2020). Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. EUREKA: Physics and Engineering, 4, 78–89. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>
5. Zuiev, P., Zhyvotovskiy, R., Zvieriev, O., Hatsenko, S., Kuprii, V., Nakonechnyi, O. et al. (2020). Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (9 (106)), 14–23. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>
6. Shyshatskyi, A. (2020). Complex Methods of Processing Different Data in Intellectual Systems for Decision Support System. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, 9 (4), 5583–5590. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/206942020>
7. 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. https://doi.org/10.46338/ijetae0521_05
8. Rotshteyn, A. P. (1999). Intellektual'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. <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. <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. <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. <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. <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. <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. <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. <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. [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. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268621>
19. Maccarone, A. D., Brzorad, J. N., Stone, H. M. (2008). Characteristics and Energetics of Great Egret and Snowy Egret Foraging Flights. *Waterbirds*, 31 (4), 541–549. <https://doi.org/10.1675/1524-4695-31.4.541>
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. <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. <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. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.3.01>
23. Trotsko, O., Protas, N., Odarushchenko, E., Vakulenko, Y., Degtyareva, L., Parzhnyskyi, V. et al. (2023). Improvement of the optimization method based on the wolf flock algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (4 (121)), 26–33. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.273784>
24. Meleshko, Y., Driev, O., Driev, H. (2020). Method of identification bot profiles based on neural networks in recommendation systems. *Advanced Information Systems*, 4 (2), 24–28. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.2.05>
25. 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. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266009>
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. <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. <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. <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. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.98750>
30. Stepanenko, A., Oliynyk, 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. <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. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96321>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298568

DEVELOPMENT OF A METHOD OF INCREASING THE EFFICIENCY OF DECISION-MAKING IN ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEMS (p. 14–22)

Salman Rasheed Owaid

Al-Taff University College, Karbala, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1189-9707>

Yurii Zhuravskiy

Zhytomyr Military Institute

named after S. P. Koroliov, Zhytomyr, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4234-9732>

Oleksandr Lytvynenko

Military Institute of Taras Shevchenko

National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6541-3621>

Andrii Veretnov

Central Scientifically-Research Institute of Armaments and

Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine,

Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0160-7325>

Dmytro Sokolovskiy

Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4339-4201>

Ganna Plekhova

Kharkiv National Automobile and

Highway University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6912-6520>

Volodymyr Hrinkov

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

Tetiana Pluhina

Kharkiv National Automobile and
Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6724-6708>

Serhii Neronov

Kharkiv National Automobile and
Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2381-1271>

Oleksii Dovbenko

Scientific-Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5024-0563>

The object of the study is organizational and technical systems. The subject of the study is the decision-making process in the problems of management of organizational and technical systems. A method of increasing the efficiency of decision-making in organizational and technical systems using artificial intelligence is proposed. The research is based on the giant armadillo swarm algorithm to find a solution regarding the state of organizational and technical systems. Giant armadillo agents (GAA) are trained using evolving artificial neural networks, and an advanced genetic algorithm is used to select the best GAA. The method has the following sequence of actions:

- input of initial data;
- setting GAA on the search plane;
- numbering GAA in the swarm;
- determining the initial velocity of GAA;
- preliminary evaluation of the GAA search area;
- classification of food sources for GAA;
- sorting the best GAA individuals;
- attack on termite mounds by GAA;
- digging termite mounds by GAA;
- updating GAA positions;
- checking for the presence of a GAA predator;
- escape and fight against GAA predators;
- checking the stop criterion;
- training GAA knowledge bases;
- determining the amount of necessary computing resources of the intelligent decision support system.

The originality of the proposed method lies in setting GAA taking into account the uncertainty of the initial data, advanced procedures of global and local search taking into account the noise degree of data on the state of organizational and technical systems. The method makes it possible to increase the efficiency of data processing at the level of 14–19 % using additional advanced procedures. The proposed method should be used to solve the problems of evaluating complex and dynamic processes.

Keywords: management efficiency, complex processes, giant armadillo swarm algorithm, hierarchical systems.

References

1. 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
2. Dudnyk, V., Sinenko, Y., Matsyk, M., Demchenko, Y., Zhyvotovskiy, R., Repilo, I. et al. (2020). Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (105)), 37–47. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
3. Sova, O., Shyshatskyi, A., Salnikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., Hrokholskyi, Y. (2021). Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 30–40. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>
4. Pievtsov, H., Turinskyi, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., Shyshatskyi, A. (2020). Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 78–89. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>
5. Zuiev, P., Zhyvotovskiy, R., Zvieriev, O., Hatsenko, S., Kuprii, V., Nakonechnyi, O. et al. (2020). Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (106)), 14–23. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>
6. Shyshatskyi, A. (2020). Complex Methods of Processing Different Data in Intellectual Systems for Decision Support System. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9 (4), 5583–5590. <https://doi.org/10.30534/ijatce/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. https://doi.org/10.46338/ijetae0521_05
8. Rotshteyn, A. P. (1999). Intellektual'nye tekhnologii identifikatsii: nechetkie mnozhestva, geneticheskie algoritmy, neyronnye seti. *Vinnitsa: «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. <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. <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. <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. <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. <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. <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. <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. <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. [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. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268621>
19. Maccarone, A. D., Brzorad, J. N., Stone, H. M. (2008). Characteristics and Energetics of Great Egret and Snowy Egret Foraging Flights. *Waterbirds*, 31 (4), 541–549. <https://doi.org/10.1675/1524-4695-31.4.541>
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. <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. <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. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.3.01>
23. 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. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.2.05>
24. Kuchuk, N., Merlak, V., Skorodolov, V. (2020). A method of reducing access time to poorly structured data. *Advanced Information Systems*, 4 (1), 97–102. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.14>
25. Shyshatskyi, A., Tiurnikov, M., Suhak, S., Bondar, O., Melnyk, A., Bokhno, T., Lyashenko, A. (2020). Method of assessment of the efficiency of the communication of operational troop grouping system. *Advanced Information Systems*, 4 (1), 107–112. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.16>
26. Raskin, L., Sira, O. (2016). Method of solving fuzzy problems of mathematical programming. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (4 (83)), 23–28. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.81292>
27. Lytvyn, V., Vysotska, V., Pukach, P., Brodyak, O., Ugryn, D. (2017). Development of a method for determining the keywords in the slavic language texts based on the technology of web mining. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (2 (86)), 14–23. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.98750>
28. Stepanenko, A., Oliynyk, 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. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126578>
29. 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. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96321>
30. 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. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266009>
31. Braik, M., Ryalat, M. H., Al-Zoubi, H. (2022). A novel meta-heuristic algorithm for solving numerical optimization problems: Ali Baba and the forty thieves. *Neural Computing and Applications*, 34, 409–455. <https://doi.org/10.1007/s00521-021-06392-x>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.299124
ASSESSMENT OF QOS INDICATORS OF
A NETWORK WITH UDP AND TCP TRAFFIC
UNDER A NODE PEAK LOAD MODE (p. 23–31)

Pavlo Pustovoitov

National Technical University
 «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3884-0200>

Vitalii Voronets

National Technical University
 «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7793-3824>

Oleksandr Voronets

National Technical University
 «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5714-2370>

Halyna Sokol

National Technical University
 «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4847-518X>

Maksym Okhrymenko

National Technical University
 «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1292-748X>

The object of research is Markov models of network nodes with UDP (User Datagram Protocol) and TCP (Transmission Control Protocol) traffic and their differences.

The task solved is the lack of Markov models of network nodes describing the behavior of TCP traffic from the point of view of packet retransmissions and packet delivery guarantees.

Markov models of network nodes describing traffic behavior with guaranteed packet delivery have been further advanced. Given the comparison of the models, the differences from the classic models serving TCP traffic were shown, for each packet flow, an additional dimensionally was added to the graph of states and transitions, which takes into account the retransmission of a lost packet. The comparison graph shows similar behavior of queue length and packet loss for both types of traffic. But the nature of the curves is different. With TCP traffic, packet loss can exceed 5 percent. In addition, lost packets must be retransmitted, which increases the load on the network node.

More failures and packet queue lengths at a network node during peak load typically occur with TCP traffic compared to UDP traffic. At peak load, the difference in service failures can reach 20–30 percent. The main reason is that TCP uses flow control and rate-limiting mechanisms to avoid network congestion and ensure efficient data transfer between nodes.

The Markov model of TCP traffic requires an additional dimensionally on the graph of states and transitions, which affects the behavior of queues and packet failures.

The investigated problem was solved due to the universality and diversity of the mathematical apparatus of Markov mass service systems.

The results could be used in network modeling software products for building and reengineering the topology of electronic communications networks at enterprises and organizations.

Keywords: Markov model, network traffic, network node, mass service system.

References

1. Kleinrock, L. (1975). *Queueing Systems. Vol. I. Theory*. Wiley, 417.
2. Estes, A. S., Ball, M. O. (2020). Facets of the Stochastic Network Flow Problem. *SIAM Journal on Optimization*, 30 (3), 2355–2378. <https://doi.org/10.1137/19m1286049>

3. Moormann, L., Schouten, R. H. J., van de Mortel-Fronczak, J. M., Fokink, W. J., Rooda, J. E. (2023). Synthesis and Implementation of Distributed Supervisory Controllers With Communication Delays. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 20 (3), 1591–1606. <https://doi.org/10.1109/tase.2023.3260442>
4. Singla, N., Kalra, S. (2021). Performance Analysis of a Two-Dimensional State Multiserver Markovian Queuing Model with Reneging Customers. *Recent Trends in Mathematical Modeling and High Performance Computing*, 313–330. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68281-1_24
5. Chakravarthy, S. R., Romyantsev, A. (2020). Analytical and simulation studies of queueing-inventory models with MAP demands in batches and positive phase type services. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 103, 102092. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2020.102092>
6. Aouad, A., Saritaç, Ö. (2020). Dynamic Stochastic Matching Under Limited Time. *Proceedings of the 21st ACM Conference on Economics and Computation*. <https://doi.org/10.1145/3391403.3399524>
7. Harchol-Balter, M. (2021). Open problems in queueing theory inspired by datacenter computing. *Queueing Systems*, 97 (1-2), 3–37. <https://doi.org/10.1007/s11134-020-09684-6>
8. Casas, J. M., Ladra, M., Rozikov, U. A. (2019). Markov processes of cubic stochastic matrices: Quadratic stochastic processes. *Linear Algebra and Its Applications*, 575, 273–298. <https://doi.org/10.1016/j.laa.2019.04.016>
9. Cruz, F. R. B., Almeida, M. A. C., D'Angelo, M. F. S. V., van Woensel, T. (2018). Traffic Intensity Estimation in Finite Markovian Queueing Systems. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2018/3018758>
10. Maia, C.-A. (2022). Stochastic Timed Discrete-Event Systems: Modular Modeling and Performance Evaluation Through Markovian Jumps. *IEEE Access*, 10, 108332–108341. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3213697>
11. Barabash, O., Kolumbet, V. (2023). Research of mass service systems on the base of simulation modeling taking into account the multi-agent approach. *Infocommunication and computer technologies*, 2 (04), 115–121. <https://doi.org/10.36994/2788-5518-2022-02-04-12>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.299002
VISUAL IDENTIFICATION OF SOME REGULARITIES
IN PACKET NETWORK TRAFFIC (p. 32–42)

Sharafat Mirzakulova

Turan University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1400-4729>

Zhanar Ibrayeva

International Information Technology University,
 Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3196-696X>

Saule Kuanova

Turan University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7718-2477>

Aisha Mamyrova

Turan University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8604-4324>

Bakyt Japparkulov

International Information Technology University,
 Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2673-4575>

Ruslan Kamal

Almaty University of Power Engineering and
 Telecommunications, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3901-551X>

Modern heterogeneous packet networks generate network traffic with a complex structure. In this article, the object of study is a time series. The total number of User Datagram Protocol (UDP) packets has reached 250242. According to analysts, the growth trend of traffic, including real-time applications, will continue and the volume of data will grow, which may lead to the formation of packet queues when processed by network devices. In this case, there may be losses in case of long queues. To solve this problem, a power spectrum assessment was carried out. The AR maximum entropy estimator has been shown to be more sensitive than the auxiliary Fourier estimator.

Accounting for non-stationarity by spectral methods is possible only through estimation in a sliding time window. Nine diagrams of spectral-temporal analysis of the original series, its increments, and the mixed series of increments were obtained: with default parameters, with small and large windows. Diagrams related to the original series reflect the dynamics of changes in data transmission intensity in the network; they show higher temporal resolution, indicating the presence of high-frequency components (noise) and the presence of low-frequency components (trend). Diagrams with increments describe signals of periodic components; changing the length of the window did not reflect the presence of noise or trend signs. Diagrams with mixed increments show that frequency components are uniformly distributed. The uniqueness of this work lies in the real measured data, and a distinctive feature of the obtained results is the visual examination of the complex traffic structure, allowing for the resolution of the investigated problem. Practical application of the results obtained can be applied in Quality of Service (QoS) management, resource planning, and network performance optimization.

Keywords: UDP, AR-estimation, moving window, packet intensity, long-term trend, high-frequency component.

References

1. Andronov, I. L., Naumova, A. V. (2013). Program WWZ: wavelet analysis of astronomical signals with irregularly spaced arguments. *Odessa Astronomical Publications*, 26 (1). <https://doi.org/10.48550/arXiv.1310.5031>
2. Ledoit, O., Wolf, M. (2017). Analytical nonlinear shrinkage of large-dimensional covariance matrices. *University of Zurich*, 56. Available at: <https://www.econ.uzh.ch/apps/workingpapers/wp/econwp264.pdf>
3. Huang, N. E., Chen, X., Lo, M.-T., Wu, Z. (2011). On hilbert spectral representation: a true time-frequency representation for nonlinear and nonstationary data. *Advances in Adaptive Data Analysis*, 03 (01n02), 63–93. <https://doi.org/10.1142/s1793536911000659>
4. Dettinger, M. D., Ghil, M., Strong, C. M., Weibel, W., Yiou, P. (1995). Software expedites singular-spectrum analysis of noisy time series. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 76 (2), 12–21. <https://doi.org/10.1029/eo076i002p00012>
5. Ghaderpour, E., Vujadinovic, T. (2020). The Potential of the Least-Squares Spectral and Cross-Wavelet Analyses for Near-Real-Time Disturbance Detection within Unequally Spaced Satellite Image Time Series. *Remote Sensing*, 12 (15), 2446. <https://doi.org/10.3390/rs12152446>
6. Tzallas, A. T., Tsipouras, M. G., Fotiadis, D. I. (2009). Epileptic Seizure Detection in EEGs Using Time-Frequency Analysis. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 13 (5), 703–710. <https://doi.org/10.1109/titb.2009.2017939>
7. Yan, X., Yang, D., Lin, Z., Vucetic, B. (2022). Significant Low-Dimensional Spectral-Temporal Features for Seizure Detection. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 30, 668–677. <https://doi.org/10.1109/tnsre.2022.3156931>
8. Ghaderpour, E., Pagiatakis, S. D., Hassan, Q. K. (2021). A Survey on Change Detection and Time Series Analysis with Applications. *Applied Sciences*, 11 (13), 6141. <https://doi.org/10.3390/app11136141>

9. Guo, Q., Zhang, J., Zhong, C., Zhang, Y. (2021). Change Detection for Hyperspectral Images Via Convolutional Sparse Analysis and Temporal Spectral Unmixing. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 4417–4426. <https://doi.org/10.1109/jstars.2021.3074538>
10. Singh, P., Joshi, S. D., Patney, R. K., Saha, K. (2017). The Fourier decomposition method for nonlinear and non-stationary time series analysis. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 473 (2199), 20160871. <https://doi.org/10.1098/rspa.2016.0871>
11. Tang, Z., Amatulli, G., Pellikka, P. K. E., Heiskanen, J. (2021). Spectral Temporal Information for Missing Data Reconstruction (STIMDR) of Landsat Reflectance Time Series. *Remote Sensing*, 14 (1), 172. <https://doi.org/10.3390/rs14010172>
12. Yin, J., Cao, J., Siuly, S., Wang, H. (2019). An Integrated MCI Detection Framework Based on Spectral-temporal Analysis. *International Journal of Automation and Computing*, 16 (6), 786–799. <https://doi.org/10.1007/s11633-019-1197-4>
13. Wu, Z., Tan, Z.-M., Pietrafesa, L. (2023). Spectral analysis of a time series: From an additive perspective to a multiplicative perspective. *Applied and Computational Harmonic Analysis*, 63, 94–112. <https://doi.org/10.1016/j.acha.2022.11.005>
14. Harris, F. J. (1978). On the use of windows for harmonic analysis with the discrete Fourier transform. *Proceedings of the IEEE*, 66 (1), 51–83. <https://doi.org/10.1109/proc.1978.10837>
15. Oppenheim, A. V., Schaffer, R. W. (2010). *Discrete-time signal processing*. Pearson. Available at: https://media.pearsoncmg.com/ph/esm/ecs_oppenheim_dtsp_3/contents/index.htm
16. Das, S., Subba Rao, S., Yang, J. (2021). Spectral methods for small sample time series: A complete periodogram approach. *Journal of Time Series Analysis*, 42 (5-6), 597–621. <https://doi.org/10.1111/jtsa.12584>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298205

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПОШУКУ РІШЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМБІНОВАНОГО БІОІНСПІРОВАНОГО АЛГОРИТМУ (с. 6–13)**Khudhair Abed Thamer, О. Я. Сова, О. П. Шапошнікова, В. Ж. Яценюк, І. І. Становська, С. В. Шостак, О. А. Руденко, С. М. Петрук, О. Б. Мацій, С. О. Кашкевич**

Об'єктом дослідження є системи підтримки прийняття рішень. Предметом дослідження є процес прийняття рішення в задачах управління за допомогою комбінованого біоінспірованого алгоритму, що складається з:

- удосконаленого алгоритму зграї вовків та удосконаленого алгоритму зграї горобців – для вирішення оптимізаційних завдань щодо стану об'єкту;
 - удосконаленого генетичного алгоритму – для відбору найкращих агентів у зграях;
 - удосконаленого методу навчання – для глибокого навчання агентів з метою покращення оптимізаційних характеристик агентів.
- Запропоновано методику пошуку рішень з використанням удосконаленого біоінспірованого алгоритму. Методика має наступну послідовність дій:

- введення вихідних даних;
- ініціалізація пошуку зграї горобців та її параметрів;
- ранжування та відбір агентів горобців за допомогою удосконаленого генетичного алгоритму;
- оновлення розташування горобця для першовідкривача;
- перевірка умови оновлення позиції горобців;
- ініціалізація додаткових параметрів пошуку;
- запуск алгоритму зграї сірих вовків;
- навчання баз знань агентів;
- визначення кількості необхідних обчислювальних ресурсів; інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень.

Оригінальність запропонованої методики полягає у комбінованому використанні біоінспірованих алгоритмів, розставленні агентів з урахуванням невизначеності вихідних даних, удосконаленими процедурами глобального та локального пошуку. Використання методики дозволяє досягти підвищення оперативності обробки даних на рівні 19 % 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: оптимізація, складні технічні системи, алгоритм зграї горобців, алгоритм зграї вовків.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298568

РОЗРОБКА МЕТОДУ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ (с. 14–22)**Salman Rasheed Owaid, Ю. В. Журавський, О. І. Литвиненко, А. О. Веретнов, Д. Б. Соколовський, Г. А. Плехова, В. О. Грінков, Т. В. Плуїна, С. М. Неронов, О. В. Довбенко**

Об'єктом дослідження є організаційно-технічні системи. Предметом дослідження є процес прийняття рішення в завданнях управління організаційно-технічних систем. Запропоновано метод підвищення оперативності прийняття рішень в організаційно-технічних системах з використанням штучного інтелекту. В основу дослідження покладений алгоритм зграї гігантських броненосців – для пошуку рішення щодо стану організаційно-технічних систем. Для навчання агентів гігантських броненосців (АГБ) використовуються штучні нейронні мережі, що еволюціонують, а для відбору найкращих АГБ використовується удосконалений генетичний алгоритм. Методика має наступну послідовність дій:

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

Оригінальність запропонованого методу полягає у розставленні АГБ з урахуванням невизначеності вихідних даних, удосконаленими процедурами глобального та локального пошуку з урахуванням ступеню зашумленості даних про стан організаційно-технічних систем. Використання методу дозволяє досягти підвищення оперативності обробки даних на рівні 14–19 % за рахунок використання

додаткових удосконалених процедур. Запропонований метод доцільно використовувати для вирішення задач оцінки складних та динамічних процесів.

Ключові слова: оперативність управління, складні процеси, алгоритм зграї гігантських броненосців, ієрархічні системи.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.299124

ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ QOS МЕРЕЖІ З UDP ТА TCP ТРАФІКОМ У РЕЖИМІ ПІКОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ВУЗЛА (с. 23–31)

П. Є. Пустовойтов, В. М. Воронець, О. М. Воронець, Г. В. Сокол, М. Ю. Охрименко

Об'єктом дослідження є марківські моделі вузлів мереж з UDP (User Datagram Protocol, протокол користувачьких дейтаграм) та TCP (Transmission Control Protocol, протокол керування передачею) трафіком та їх відмінності.

Проблема, що вирішувалася, – відсутність марківських моделей вузлів мереж, що описують поведінку TCP трафіку з точки зору повторних передач пакетів та гарантування доставки пакетів.

Отримали подальший розвиток марківські моделі вузлів мереж, що описують поведінку трафіку з гарантованою доставкою пакетів. За рахунок порівняння моделей показані відмінності від класичних моделей, що обслуговують TCP трафік, для кожного потоку пакетів додано додаткову розмірність на графу станів та переходів, яка враховує повторну передачу втраченого пакету. Порівняльний графік показує схожу поведінку довжини черг та втрат пакетів для обох видів трафіку. Але характер кривих відрізняється. При TCP трафіку втрат пакетів може бути більше на 5 відсотків. Крім цього, втрачені пакети треба передавати повторно, це підвищує навантаження на вузол мережі.

Більше відмов та довжини черги пакетів на вузлі мережі при піковому навантаженні зазвичай відбувається при TCP трафіку порівняно з UDP трафіком. При піковому навантаженні відмінність у відмовах в обслуговуванні може досягати 20–30 відсотків. Основна причина полягає в тому, що TCP використовує механізми керування потоком і визначення швидкості передачі даних, щоб уникнути перевантаження мережі та гарантувати ефективну передачу даних між вузлами.

Марківська модель TCP трафіку потребує додаткову розмірність на графі станів та переходів, що впливає на поведінку черг, відмов пакетів.

Досліджувана проблема вирішена за рахунок універсальності та різноманітності математичного апарату марківських систем масового обслуговування.

Отримані результати можуть бути використані у програмних продуктах моделювання мереж для побудови та реінженіринга топології мереж електронних комунікацій підприємств та організацій.

Ключові слова: марківська модель, мережевий трафік, вузол мережі, система масового обслуговування.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.299002

ВІЗУАЛЬНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДЕЯКИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ПАКЕТНОГО МЕРЕЖЕВОГО ТРАФІКУ (с. 32–42)

Sharafat Mirzakulova, Zhanar Ibrayeva, Saule Kuanova, Aisha Mamyrova, Bakyt Japparkulov, Ruslan Kamal

Сучасні гетерогенні пакетні мережі генерують мережевий трафік зі складною структурою. У даній статті об'єктом дослідження є часовий ряд. Загальна кількість пакетів User Datagram Protocol (UDP) досягла 250242. На думку аналітиків, тенденція зростання трафіку, в тому числі додатків реального часу, збережеться, а обсяг даних буде рости, що може призвести до формування черг пакетів, при обробці мережевими пристроями. У цьому випадку можливі збитки при великих чергах. Для вирішення цієї проблеми була проведена оцінка спектру потужності. Було показано, що оцінка максимальної ентропії AR більш чутлива, ніж допоміжна оцінка Фур'є.

Облік нестационарності спектральними методами можливий лише через оцінку в ковзному часовому вікні. Отримано 9 діаграм спектрально-часового аналізу вихідної серії, її інкрементів та змішаної серії інкрементів: із параметрами за замовчуванням, з малими та великими вікнами. Діаграми, пов'язані з вихідним рядом, відображають динаміку зміни інтенсивності передачі даних у мережі; вони демонструють вищу тимчасову роздільну здатність, вказуючи на наявність високочастотних компонентів (шум) і присутність низькочастотних компонентів (тенденція). Діаграми з приростами описують сигнали періодичних складових; зміна довжини вікна не відображала наявності шуму або ознак тенденції. Діаграми зі змішаними кроками показують, що частотні компоненти розподілені рівномірно. Унікальність цієї роботи полягає в реальних вимірних даних, а відмінною рисою отриманих результатів є візуальне дослідження складної транспортної структури, що дозволяє вирішити досліджувану задачу. Практичне застосування отриманих результатів може бути застосовано в управлінні якістю обслуговування (QoS), плануванні ресурсів та оптимізації продуктивності мережі.

Ключові слова: UDP, AR-оцінка, рухоме вікно, інтенсивність пакетів, довгостроковий тренд, високочастотна складова.