

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.245222
IMPLEMENTATION OF NEW HYBRID
EVOLUTIONARY ALGORITHM WITH FUZZY
LOGIC CONTROL APPROACH FOR OPTIMIZATION
PROBLEMS (p. 6–14)

Maan Afathi

University of Mosul, Mosul, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4875-3824>

The main purpose of using the hybrid evolutionary algorithm is to reach optimal values and achieve goals that traditional methods cannot reach and because there are different evolutionary computations, each of them has different advantages and capabilities. Therefore, researchers integrate more than one algorithm into a hybrid form to increase the ability of these algorithms to perform evolutionary computation when working alone. In this paper, we propose a new algorithm for hybrid genetic algorithm (GA) and particle swarm optimization (PSO) with fuzzy logic control (FLC) approach for function optimization. Fuzzy logic is applied to switch dynamically between evolutionary algorithms, in an attempt to improve the algorithm performance. The HEF hybrid evolutionary algorithms are compared to GA, PSO, GAPSO, and PSOGA. The comparison uses a variety of measurement functions. In addition to strongly convex functions, these functions can be uniformly distributed or not, and are valuable for evaluating our approach. Iterations of 500, 1000, and 1500 were used for each function. The HEF algorithm's efficiency was tested on four functions. The new algorithm is often the best solution, HEF accounted for 75 % of all the tests. This method is superior to conventional methods in terms of efficiency.

Keywords: evolutionary computations, GA, PSO, FLC, optimization, hybrid evolutionary algorithm.

References

- Ishibuchi, H., Nojima, Y. (2007). Optimization of Scalarizing Functions Through Evolutionary Multiobjective Optimization. *Evolutionary Multi-Criterion Optimization*, 51–65. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-540-70928-2_8
- Butz, M. V. (2006). Rule-based evolutionary online learning systems. Springer-Verlag, 259. doi: <https://doi.org/10.1007/b104669>
- Coello, C. A. C., Lamont, G. B., Van Veldhuizen, D. A. (2007). *Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems*. Springer, 800. doi: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-36797-2>
- Deng, W., Shang, S., Cai, X., Zhao, H., Song, Y., Xu, J. (2021). An improved differential evolution algorithm and its application in optimization problem. *Soft Computing*, 25 (7), 5277–5298. doi: <https://doi.org/10.1007/s00500-020-05527-x>
- Kuranga, C., Pillay, N. (2021). Genetic programming-based regression for temporal data. *Genetic Programming and Evolvable Machines*, 22 (3), 297–324. doi: <https://doi.org/10.1007/s10710-021-09404-w>
- Lehre, P. K., Nguyen, P. T. H. (2021). Runtime Analyses of the Population-Based Univariate Estimation of Distribution Algorithms on LeadingOnes. *Algorithmica*, 83 (10), 3238–3280. doi: <https://doi.org/10.1007/s00453-021-00862-3>
- Chen, P.-C., Chen, C.-W., Chiang, W.-L., Yeh, K. (2009). A novel stability condition and its application to ga-based fuzzy control for nonlinear systems with uncertainty. *Journal of Marine Science and Technology*, 17 (4). doi: <https://doi.org/10.51400/2709-6998.1985>
- Chang, X., Lilly, J. H. (2004). Evolutionary Design of a Fuzzy Classifier From Data. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 34 (4), 1894–1906. doi: <https://doi.org/10.1109/tsmcb.2004.831160>
- Mohammadian, M., Stonier, R. J. (1994). Generating fuzzy rules by genetic algorithms. *Proceedings of 1994 3rd IEEE International Workshop on Robot and Human Communication*. doi: <https://doi.org/10.1109/roman.1994.365902>
- Chen, S.-M., Chen, Y.-C. (2002). Automatically constructing membership functions and generating fuzzy rules using genetic algorithms. *Cybernetics and Systems*, 33 (8), 841–862. doi: <https://doi.org/10.1080/01969720290040867>
- Tsang, C.-H., Kwong, S., Wang, H. (2007). Genetic-fuzzy rule mining approach and evaluation of feature selection techniques for anomaly intrusion detection. *Pattern Recognition*, 40 (9), 2373–2391. doi: <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2006.12.009>
- Angeline, P. J. (1998). Evolutionary optimization versus particle swarm optimization: Philosophy and performance differences. *Evolutionary Programming VII*, 601–610. doi: <https://doi.org/10.1007/bfb0040811>
- Eberhart, R. C., Shi, Y. (1998). Comparison between genetic algorithms and particle swarm optimization. *Evolutionary Programming VII*, 611–616. doi: <https://doi.org/10.1007/bfb0040812>
- Pawar, P. M., Ganguli, R. (2007). Genetic fuzzy system for on-line structural health monitoring of composite helicopter rotor blades. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 21 (5), 2212–2236. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2006.09.006>
- Chu, B., Kim, D., Hong, D., Park, J., Chung, J. T., Chung, J.-H., Kim, T.-H. (2008). GA-based fuzzy controller design for tunnel ventilation systems. *Automation in Construction*, 17 (2), 130–136. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2007.05.011>
- Franke, C., Hoffmann, F., Lepping, J., Schwiegelshohn, U. (2008). Development of scheduling strategies with Genetic Fuzzy systems. *Applied Soft Computing*, 8 (1), 706–721. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2007.05.009>
- Tang, J., Zhang, G., Lin, B., Zhang, B. (2010). A Hybrid PSO/GA Algorithm for Job Shop Scheduling Problem. *Advances in Swarm Intelligence*, 566–573. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-13495-1_69
- Robinson, J., Sinton, S., Rahmat-Samii, Y. (2002). Particle swarm, genetic algorithm, and their hybrids: optimization of a profiled corrugated horn antenna. *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (IEEE Cat. No. 02CH37313)*. doi: <https://doi.org/10.1109/aps.2002.1016311>
- Dziwinski, P., Bartczuk, L. (2020). A New Hybrid Particle Swarm Optimization and Genetic Algorithm Method Controlled by Fuzzy Logic. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 28 (6), 1140–1154. doi: <https://doi.org/10.1109/tfuzz.2019.2957263>
- Ruan, X., Wang, J., Zhang, X., Liu, W., Fu, X. (2020). A Novel Optimization Algorithm Combining Gbest-Guided Artificial Bee Colony Algorithm with Variable Gradients. *Applied Sciences*, 10 (10), 3352. doi: <https://doi.org/10.3390/app10103352>

21. Gao, W., Liu, S. (2012). A modified artificial bee colony algorithm. *Computers & Operations Research*, 39 (3), 687–697. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2011.06.007>
22. Xue, Y., Jiang, J., Zhao, B., Ma, T. (2017). A self-adaptive artificial bee colony algorithm based on global best for global optimization. *Soft Computing*, 22 (9), 2935–2952. doi: <https://doi.org/10.1007/s00500-017-2547-1>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.234915

DEVELOPMENT OF AN ENHANCED SCATTER SEARCH ALGORITHM USING DISCRETE CHAOTIC ARNOLD'S CAT MAP (p. 15–20)

Amaal Ghazi Hamad Rafash

Al Ma'moon University College, Baghdad, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5237-9081>

Enas Mohammed Hussein Saeed

Al-Mustansiriyah University, Baghdad, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1974-6166>

Al-Sharify Mushtaq Talib

Taras Shevchenko National University

of Kyiv, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9818-3612>

Solving optimization problems is an ever-growing subject with an enormous number of algorithms. Examples of such algorithms are Scatter Search (SS) and genetic algorithms. Modifying and improving of algorithms can be done by adding diversity and guidance to them. Chaotic maps are quite sensitive to the initial point, which means even a very slight change in the value of the initial point would result in a dramatic change of the sequence produced by the chaotic map Arnold's Cat Map. Arnold's Cat Map is a chaotic map technique that provides long non-repetitive random-like sequences.

Chaotic maps play an important role in improving evolutionary optimization algorithms and meta-heuristics by avoiding local optima and speeding up the convergence. This paper proposes an implementation of the scatter search algorithm with travelling salesman as a case study, then implements and compares the developed hyper Scatter Arnold's Cat Map Search (SACMS) method against the traditional Scatter Search Algorithm. SACMS is a hyper Scatter Search Algorithm with Arnold's Cat Map Chaotic Algorithm. Scatter Arnold's Cat Map Search shows promising results by decreasing the number of iterations required by the Scatter Search Algorithm to get an optimal solution(s). Travelling Salesman Problem, which is a popular and well-known optimization example, is implemented in this paper to demonstrate the results of the modified algorithm Scatter Arnold's Cat Map Search (SACMS). Implementation of both algorithms is done with the same parameters: population size, number of cities, maximum number of iterations, reference set size, etc. The results show improvement by the modified algorithm in terms of the number of iterations required by SS with an iteration reduction of 10–46 % and improvements in time to obtain solutions with 65 % time reduction.

Keywords: scatter search, Arnold's cat map, chaotic, TSP, metaheuristic, optimization problems.

References

1. AlObaidi, A. T. S., Hamad, A. G. (2010). BSA: A Hybrid Bees' Simulated Annealing Algorithm To Solve Optimiza-

- tion & NP-Complete Problems. *Engineering And Technology Journal*, 28 (2), 271–281.
2. Saeed, E. M. H., Hammood, B. A. (2021). Estimation and evaluation of Students' behaviors in E-learning Environment using adaptive computing. *Materials Today: Proceedings*. Elsevier. doi: <http://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.519>
3. Woźniak, M., Połap, D. (2017). Hybrid neuro-heuristic methodology for simulation and control of dynamic systems over time interval. *Neural Networks*, 93, 45–56. doi: <http://doi.org/10.1016/j.neunet.2017.04.013>
4. Brociek, R., Słota, D. (2016). Application and comparison of intelligent algorithms to solve the fractional heat conduction inverse problem. *Information Technology And Control*, 45 (2), 184–194. doi: <http://doi.org/10.5755/j01.itc.45.2.13716>
5. ALSudani, H. A., Hussain, E. M., Khalil, E. A. (2020). Classification the Mammograms Based on Hybrid Features Extraction Techniques Using Multilayer Perceptron Classifier. *Al-Mustansiriyah Journal of Science*, 31 (4), 72–79. doi: <http://doi.org/10.23851/mjs.v31i4.902>
6. Stallings, W. (2013). *Cryptography and Network Security: Principles and Practice*. Pearson, 752.
7. Bassham, L. E., Rukhin, A. L., Soto, J., Nechvatal, J. R., Smid, M. E., Barker, E. B. et. al. (2010). A statistical test suite for random and pseudorandom number generators for cryptographic applications. Gaithersburg, 131. doi: <http://doi.org/10.6028/nist.sp.800-22r1a>
8. Brown, R. G. (2020). Dieharder: A Random Number Test Suite. Available at: <http://webhome.phy.duke.edu/~rgb/General/dieharder.php>
9. Saeed, E. M. H., Hammood, B. A. (2021). Article Review: Survey Fuzzy Logic and Aprior Algorithms Employed for E-learning Environment. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 12 (9), 1393–1402.
10. Brownlee, J. (2012). *Clever Algorithms: Nature-Inspired Programming Recipes*. Lulu, 436.
11. Borisenko, A., Gorlatch, S. (2018). Comparing GPU-parallelized metaheuristics to branch-and-bound for batch plants optimization. *The Journal of Supercomputing*, 75 (12), 7921–7933. doi: <http://doi.org/10.1007/s11227-018-2472-9>
12. Abdulelah, A. J., Shaker, K., Sagheer, A. M., Jalab, H. A. (2017). A Dynamic Scatter Search Algorithm for Solving Traveling Salesman Problem. 9th International Conference on Robotic, Vision, Signal Processing and Power Applications. *Lecture Notes in Electrical Engineering LNEE*. Singapore: Springer, 398, 117–124. doi: http://doi.org/10.1007/978-981-10-1721-6_13
13. Sagheer, A. M., Sadiq, A. T., Ibrahim, M. S. (2012). Improvement of scatter search using Bees Algorithm. 2012 6th International Conference on Signal Processing and Communication Systems. Gold Coast. doi: <http://doi.org/10.1109/icspcs.2012.6507943>
14. Souza, D. S., Santos, H. G., Coelho, I. M. (2017). A Hybrid Heuristic in GPU-CPU Based on Scatter Search for the Generalized Assignment Problem. *Procedia Computer Science*, 108, 1404–1413. doi: <http://doi.org/10.1016/j.procs.2017.05.188>
15. Prerna, D., Bhawna, K. (2015). Image Encryption Using Arnold's Cat Map and Logistic Map for Secure Transmission. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 4 (6), 194–199.
16. Shrivastava, S. (2011). A Novel 2D Cat Map based Fast Data Encryption Scheme. *International Journal of Electronics and Communication Engineering*, 4 (2), 217–223.

17. Meymand, M. Z., Rashidinejad, M., Khorasani, H., Rahmani, M., Mahmoudabadi, A. (2012). An Implementation of Modified Scatter Search Algorithm to Transmission Expansion Planning. *Turkish Journal of Electrical Engineering Computer Sciences*, 20 (1), 1206–1219.
18. Laguna, M., Martí, R. (2003). Scatter Search Methodology and Implementations in C. *Research/Computer Science Interfaces Series ORCS Vol. 24. Erratum E1*. Springer. doi: <http://doi.org/10.1007/978-1-4615-0337-8>
19. Yas, R. M. (2017). Permuting Convergence Overcoming of Genetic Algorithm Using Arnold Cat Map. *International Journal of Science and Research*, 6 (5), 2588–2590.
20. AlObaidi, A. T. S., Hamad, A. G. (2012). Exploration-Balanced Bees Algorithms to Solve Optimization and NP-Complete Problems. *International Journal of Research and Reviews in Soft and Intelligent Computing*, 2 (1), 108–113.
21. Mohammed, R. S., Hussien, E. M., Mutter, J. R. (2016). A novel technique of privacy preserving association rule mining. 2016 Al-Sadeq International Conference on Multi-disciplinary in IT and Communication Science and Applications (AIC-MITCSA), 1–6. doi: <http://doi.org/10.1109/aic-mitsa.2016.7759930>
22. Gilbert, N. (1993). *Analyzing Tabular Data: Loglinear and Logistic Models for Social Researchers*. London: UCL Press, 196.
23. Dorian, G. (2004). *Natural Algorithms for Optimisation Problems*. Imperial College, 143.
24. Yas, R. M., Hashem, S. H. (2020). Unequal clustering and scheduling in Wireless Sensor Network using Advance Genetic Algorithm. *Journal of Physics: Conference Series*, 1530, 012076. doi: <http://doi.org/10.1088/1742-6596/1530/1/012076>
25. Yas, R. M., Hashem, S. H. (2020). A Survey on Enhancing Wire/Wireless Routing Protocol Using Machine Learning Algorithms. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 870, 012037. doi: <http://doi.org/10.1088/1757-899x/870/1/012037>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.245010

BUILDING A MATHEMATICAL MODEL AND AN ALGORITHM FOR TRAINING A NEURAL NETWORK WITH SPARSE DIPOLE SYNAPTIC CONNECTIONS FOR IMAGE RECOGNITION (p. 21–27)

Vasyl Lytvyn

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9676-0180>

Roman Peleshchak

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0536-3252>

Ivan Peleshchak

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7481-8628>

Oksana Cherniak

Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Drohobych, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6034-1016>

Lyubomyr Demkiv

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2802-3461>

Large enough structured neural networks are used for solving the tasks to recognize distorted images involving computer

systems. One such neural network that can completely restore a distorted image is a fully connected pseudospin (dipole) neural network that possesses associative memory. When submitting some image to its input, it automatically selects and outputs the image that is closest to the input one. This image is stored in the neural network memory within the Hopfield paradigm. Within this paradigm, it is possible to memorize and reproduce arrays of information that have their own internal structure.

In order to reduce learning time, the size of the neural network is minimized by simplifying its structure based on one of the approaches: underlying the first is «regularization» while the second is based on the removal of synaptic connections from the neural network. In this work, the simplification of the structure of a fully connected dipole neural network is based on the dipole-dipole interaction between the nearest adjacent neurons of the network.

It is proposed to minimize the size of a neural network through dipole-dipole synaptic connections between the nearest neurons, which reduces the time of the computational resource in the recognition of distorted images. The ratio for weight coefficients of synaptic connections between neurons in dipole approximation has been derived. A training algorithm has been built for a dipole neural network with sparse synaptic connections, which is based on the dipole-dipole interaction between the nearest neurons. A computer experiment was conducted that showed that the neural network with sparse dipole connections recognizes distorted images 3 times faster (numbers from 0 to 9, which are shown at 25 pixels), compared to a fully connected neural network.

Keywords: mathematical model, neural network, sparse dipole synaptic connections, image recognition.

References

1. Peleshchak, I., Peleshchak, R., Lytvyn, V., Kopka, J., Wrzesien, M., Korniak, J. et. al. (2020). Spectral Image Recognition Using Artificial Dynamic Neural Network in Information Resonance Mode. *Artificial Intelligence and Industrial Applications*, 313–322. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-51186-9_22
2. Lytvyn, V., Peleshchak, I., Peleshchak, R., Holoshchuk, R. (2018). Detection of multispectral input images using non-linear artificial neural networks. 2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). doi: <https://doi.org/10.1109/tcset.2018.8336169>
3. Greenberg, S., Guterman, H. (1996). Neural-network classifiers for automatic real-world aerial image recognition. *Applied Optics*, 35 (23), 4598. doi: <https://doi.org/10.1364/ao.35.004598>
4. Andriyanov, N. A., Dementiev, V. E., Kargashin, Y. D. (2021). Analysis of the impact of visual attacks on the characteristics of neural networks in image recognition. *Procedia Computer Science*, 186, 495–502. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.04.170>
5. Simard, P. Y., Steinkraus, D., Platt, J. C. (2003). Best practices for convolutional neural networks applied to visual document analysis. *Seventh International Conference on Document Analysis and Recognition*, 2003. Proceedings. doi: <https://doi.org/10.1109/icdar.2003.1227801>
6. Zhou, Y., Song, S., Cheung, N.-M. (2017). On classification of distorted images with deep convolutional neural networks. 2017 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). doi: <https://doi.org/10.1109/icassp.2017.7952349>

7. Ha, M., Byun, Y., Kim, J., Lee, J., Lee, Y., Lee, S. (2019). Selective Deep Convolutional Neural Network for Low Cost Distorted Image Classification. *IEEE Access*, 7, 133030–133042. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2939781>
8. Li, B., Tian, M., Zhang, W., Yao, H., Wang, X. (2021). Learning to predict the quality of distorted-then-compressed images via a deep neural network. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 76, 103004. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2020.103004>
9. Guan, X., Li, F., He, L. (2020). Quality Assessment on Authentically Distorted Images by Expanding Proxy Labels. *Electronics*, 9 (2), 252. doi: <https://doi.org/10.3390/electronics9020252>
10. Peleshchak, R., Lytvyn, V., Peleshchak, I., Vysotska, V. (2021). Stochastic Pseudo-Spin Neural Network with Tridiagonal Synaptic Connections. 2021 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST). doi: <https://doi.org/10.1109/sist50301.2021.9465998>
11. Slyadnikov, E. E. (2007). Fizicheskaya model' i associativnaya pamyat' dipol'noy sistemy mikrotrubochki citoskeleta. *Zhurnal tehnicheckoy fiziki*, 77 (7), 77–86. Available at: <https://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/9173>
12. Slyadnikov, E. E. (2011). Fizicheskie osnovy, modeli predstavleniya i raspoznavaniya obrazov v mikrotrubochke citoskeleta neyrona. *Zhurnal tehnicheckoy fiziki*, 81 (12). Available at: <http://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/10478>
13. Penrouz, R. (2005). Teni razuma: v poiskah nauki o soznanii. Moscow-Izhevsk: IKI, 688. Available at: <http://alpha.sinp.msu.ru/~panov/Penrose-Shadows.pdf>
14. Hameroff, S. R. (1994). Quantum coherence in microtubules: A neural basis for emergent consciousness? *Journal of Consciousness Studies*, 1 (1), 91–118. Available at: <https://www.ingentaconnect.com/contentone/imp/jcs/1994/00000001/00000001/art00008>
15. Brown, J. A., Tuszynski, J. A. (1999). A review of the ferroelectric model of microtubules. *Ferroelectrics*, 220 (1), 141–155. doi: <https://doi.org/10.1080/00150199908216213>
16. Tuszynski, J. A., Hameroff, S., Satarić, M. V., Trpisová, B., Nip, M. L. A. (1995). Ferroelectric behavior in microtubule dipole lattices: Implications for information processing, signaling and assembly/disassembly. *Journal of Theoretical Biology*, 174 (4), 371–380. doi: <https://doi.org/10.1006/jtbi.1995.0105>
17. Stebbings, H. (1995). Microtubule-based intracellular transport of organelles. *The Cytoskeleton: A Multi-Volume Treatise*, 113–140. doi: [https://doi.org/10.1016/s1874-6020\(06\)80017-0](https://doi.org/10.1016/s1874-6020(06)80017-0)
18. Hopfield, J. J. (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 79 (8), 2554–2558. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.79.8.2554>
19. Yurkovych, N. V., Herasimov, O. V., Yurkovych, V. M., Mar'yan, M. I. (2014). Composition of neural networks by hebb algorithm and direct spreading in characters encoding systems. *Uzhhorod University Scientific Herald. Series Physics*, 36, 161–167. Available at: http://teib.info/?wpfb_dl=1138
20. Cherniak, O., Peleshchak, R., Doroshenko, M. (2020). Reduction of display time of input images by pseudo-spin neural network due to rarefaction of synaptic connections. *Modern problems in science. Abstracts of VIII International Scientific and Practical Conference*. Prague, 680–686. Available at: <https://isg-konf.com/uk/modern-problems-in-science-ua/>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.245017
CYBERNETIC ESTIMATION OF RESERVE UTILIZATION EFFICIENCY (p. 28–37)

Igor Lutsenko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi
 National University, Kremenchuk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1959-4684>

This study relates to the field of verification of cybernetic estimates of the use of reserves as criteria for the effectiveness of transformative class systems with a continuous supply of a technological product.

The task set here attracted even more attention after the advent of improved approaches that make it possible to automatically change the control trajectories of technological systems in real time. In such cases, the assessment of the current status of the process and the efficiency of stock management has become an integral part of the operation of the management subsystems. Therefore, the development and verification of cybernetic assessment of effectiveness for such control systems is a relevant issue.

The first stage of the reported research involved the development of a cybernetic model of operation with distributed parameters. Four formal features have been proposed. Finding integral functions of these features has made it possible to obtain an idea of some quantitative characteristics of the process while finding the second time-dependent integral characteristic has made it possible to represent the physical and cybernetic parameters of the process.

At the second stage, formulas for calculating the main assessment indicators were proposed; their verification was carried out under three different control trajectories, which showed the adequacy of the devised approach.

The final step was to develop three variations of the efficiency formula, which is calculated at set points in time throughout the entire production cycle.

Thus, cybernetic assessment of the effectiveness of the use of reserves makes it possible to formalize and fully automate the processes of optimization and adaptation of the functional systems of an enterprise.

Keywords: continuous process, verification, efficiency system, efficiency criterion, management lever.

References

1. Lutsenko, I., Koval, S., Oksanych, I., Serdiuk, O., Kolomits, H. (2018). Development of structural-parametric optimization method in systems with continuous feeding of technological products. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (2 (94)), 55–62. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.136609>
2. Lutsenko, I., Oksanych, I., Koval, S., Rylova, N. (2019). Modeling a Converter-class Interactive System. 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). doi: <https://doi.org/10.1109/elnano.2019.8783271>
3. Chen, W., Guo, X., Zou, E., Luo, M., Chen, M., Yang, M. et al. (2020). A continuous and high-efficiency process to separate coal bed methane with porous ZIF-8 slurry: Experimental study and mathematical modelling. *Green Energy & Environment*, 5 (3), 347–363. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gee.2020.04.015>
4. Sinchuk, O., Sinchuk, I., Beridze, T. (2018). Private commentary to the problem energy security of Ukraine. *Electronics*, 7 (12), 1985–1992. doi: <https://doi.org/10.3390/e7121985>

- tromechanical and energy saving systems, 1 (41), 53–60. doi: <https://doi.org/10.30929/2072-2052.2018.1.41.53-60>
5. Weigler, F., Scaar, H., Franke, G., Mellmann, J. (2017). Optimization of mixed flow dryers to increase energy efficiency. *Drying Technology*, 35 (8), 985–993. doi: <https://doi.org/10.1080/07373937.2016.1230627>
 6. Konokh, I. S., Istomina, N. N., Oksanich, A. P. (2019). The search for the optimal control law of processing raw materials by the maximum efficiency criterion. *Radioelectronics & Informatics*, 1 (84), 10–19. Available at: <https://www.ewdtest.com/ri/%E2%84%96184-2019/>
 7. Bianchi, B., Tamborrino, A., Santoro, F. (2013). Assessment of the energy and separation efficiency of the decanter centrifuge with regulation capability of oil water ring in the industrial process line using a continuous method. *Journal of Agricultural Engineering*, 44 (2s). doi: <https://doi.org/10.4081/jae.2013.298>
 8. Konokh, I. (2018). Extreme effective control of continuous raw material processing. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, 5, 30–38. doi: <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2018.5.30-38>
 9. Konokh, I. S., Istomina, N. M. (2019). Efficiency Analysis and Optimization of Technological Modes of Drum Drying Stations. *Visnyk of Vinnytsia Politechnical Institute*, 6 (147), 7–18. doi: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2019-147-6-7-18>
 10. Konokh, I., Oksanych, I., Istomina, N. (2019). Automatic Search Method of Efficiency Extremum for a Multi-stage Processing of Raw Materials. *Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making*, 225–241. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-26474-1_17
 11. Zagirnyak, M., Aliksieieva, I., Konoh, I., Korenkova, T. (2019). Extreme control system for pump complex by the criterion of maximum efficiency. *Tekhnichna Elektrodynamika*, 2019 (1), 79–84. doi: <https://doi.org/10.15407/techne2019.01.079>
 12. Tytiuk, V. (2016). Analytical determination of the electromechanical system starting process efficiency index with regard to the distributed nature of input products consumption. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (2 (84)), 51–59. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.83203>
 13. Lutsenko, I. (2016). Definition of efficiency indicator and study of its main function as an optimization criterion. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (2 (84)), 24–32. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.85453>
 14. Lutsenko, I. (2015). Identification of target system operations. development of global efficiency criterion of target operations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (2 (74)), 35–40. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.38963>

DOI: [10.15587/1729-4061.2021.244924](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.244924)

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DIFFERENTIAL ANALYSIS OF DATA ON THE ARTERIAL BLOOD OXYGENATION IN HEALTHY ADULTS (p. 37–43)

Gennady Chuiko

Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5590-9404>

Yevhen Darnapuk

Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7099-5344>

Monitoring of arterial blood saturation with oxygen (oxygenation) has gained special significance as a result of the COVID-19 pandemic. A new method for computer processing of saturation records (so-called SaO₂ signals), based on the study of differentials (increments) from signals, was proposed. Finding a differential for a time series involves calculating the difference between the pairs of its adjacent elements. The differential is non-zero only if the elements in a pair are different. The study of differentials together with primary signals for a set of records (20 subjects) shows that the spectrum of observed levels of blood saturation is discrete and limited (from 2 to 10 levels). In addition, changes in saturation levels (switches) occur only between the nearest levels.

New indicators of the variability of blood saturation were proposed. These are the frequencies of saturation level switches (event intensities) and the intervals between them. It was established that these indicators are described by statistical distributions of Poisson and Erlang, respectively. Comparison of new variability indicators with the most reliable statistical – inter-quartile range – indicates that the new indicators also provide for the division of the data set into three subgroups according to the magnitude of variability. This division is statistically significant at a confidence level of 0.99 in both approaches, however, the division into subgroups is slightly different in these methods.

It was shown that the proposed indicators of the variability of SaO₂ signals are scale-invariant, that is, they do not depend on the length of observation interval. This is a consequence of the fractality of the positions of differentials in the observation interval. The established switch frequencies for subgroups in order of increasing variability are (0.06, 0.11, and 0.20) Hz. These frequencies are manifested on Fourier spectra of differentials of SaO₂.

Keywords: arterial blood oxygenation, variability, differential analysis, Poisson and Erlang distributions, COVID-19.

References

1. Herrmann, J., Mori, V., Bates, J. H. T., Suki, B. (2020). Modeling lung perfusion abnormalities to explain early COVID-19 hypoxemia. *Nature Communications*, 11 (1). doi: <http://doi.org/10.1038/s41467-020-18672-6>
2. Kashani, K. B. (2020). Hypoxia in COVID-19: Sign of Severity or Cause for Poor Outcomes. *Mayo Clinic Proceedings*, 95 (6), 1094–1096. doi: <http://doi.org/10.1016/j.mayocp.2020.04.021>
3. Xie, J., Covassin, N., Fan, Z., Singh, P., Gao, W., Li, G. et. al. (2020). Association Between Hypoxemia and Mortality in Patients With COVID-19. *Mayo Clinic Proceedings*, 95 (6), 1138–1147. doi: <http://doi.org/10.1016/j.mayocp.2020.04.006>
4. Hypoxemia (low blood oxygen) (2018). Mayo Clinic. Available at: <https://www.mayoclinic.org/symptoms/hypoxemia/basics/definition/sym-20050930> Last accessed: 21.09.2021
5. Niknafs, P., Norouzi, E., Bahman, B. B., Baneshi, M. R. (2015). Can we Replace Arterial Blood Gas Analysis by Pulse Oximetry in Neonates with Respiratory Distress Syndrome who are Treated According to INSURE Protocol? *Iranian Journal of Medical Sciences*, 40 (3), 264–267. Available at: https://www.researchgate.net/publication/277080542_Can_we_Replace_Arterial_Blood_Gas_Analysis_by_Pulse_Oximetry_in_Neonates_with_Respiratory_Distress_Syndrome_who_are_Treated_According_to_INSURE_Protocol Last accessed: 21.09.2021
6. Jubran, A. (2015). Pulse oximetry. *Critical Care*, 19 (1). doi: <http://doi.org/10.1186/s13054-015-0984-8>

7. Mack, E. (2007). Focus on Diagnosis: Co-oximetry. *Pediatrics in Review*, 28 (2), 73–74. doi: <http://doi.org/10.1542/pir.28-2-73>
8. Chushkin, M., Popova, L., Shergina, E., Krasnikova, E., Gordeeva, O., Karpina, N. (2020). Comparative analysis of the arterial oxygen saturation (SaO₂) and pulse oximetry measurements (SpO₂) in patients with pulmonary tuberculosis. *European Respiratory Journal*, 56. doi: <http://doi.org/10.1183/13993003.congress-2020.3209>
9. Wilson-Baig, N., McDonnell, T., Bentley, A. (2021). Discrepancy between SpO₂ and SaO₂ in patients with COVID-19. *Anaesthesia*, 76 (S3), 6–7. doi: <http://doi.org/10.1111/anae.15228>
10. Shenoy, N., Luchtel, R., Gulani, P. (2020). Considerations for target oxygen saturation in COVID-19 patients: are we under-shooting? *BMC Medicine*, 18 (1). doi: <http://doi.org/10.1186/s12916-020-01735-2>
11. Fossion, R., Fossion, J. P. J., Rivera, A. L., Lecona, O. A., Toledo-Roy, J. C., García-Pelagio, K. P. et. al.; Olivares-Quiroz, L., Resendis-Antonio, O. (Eds.) (2018). Homeostasis from a Time-Series Perspective: An Intuitive Interpretation of the Variability of Physiological Variables. *Quantitative Models for Microscopic to Macroscopic Biological Macromolecules and Tissues*. Cham: Springer, 87–109. doi: http://doi.org/10.1007/978-3-319-73975-5_5
12. Chuiko, G., Dvornik, O., Darnapuk, Y., Baganov, Y. (2021). Devising a new filtration method and proof of self-similarity of electromyograms. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (112)), 15–22. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239165>
13. Yoshida, M., Onda, K., Wada, Y., Kuwahara, M. (2015). Influence of sickness condition on diurnal rhythms of heart rate and heart rate variability in cows. *Journal of Veterinary Medical Science*, 77 (3), 375–379. doi: <http://doi.org/10.1292/jvms.14-0402>
14. Bhogal, A. S., Mani, A. R. (2017). Pattern Analysis of Oxygen Saturation Variability in Healthy Individuals: Entropy of Pulse Oximetry Signals Carries Information about Mean Oxygen Saturation. *Frontiers in Physiology*, 8. doi: <http://doi.org/10.3389/fphys.2017.00555>
15. Frost, J. (2019). *Introduction to Statistics: An Intuitive Guide for Analyzing Data and Unlocking Discoveries*. Available at: <https://www.goodreads.com/book/show/53632396-introduction-to-statistics> Last accessed: 21.09.2021
16. Chuiko, G., Darnapuk, Y., Dvornik, O., Kraynik, Y., Yaremchuk, O., Haab, R. (2021). A New Way of Data Analysis and Rating of the Blood Oxygen Saturation Variability. 2021 IEEE 12th International Conference on Electronics and Information Technologies (ELIT), 51–54. doi: <http://doi.org/10.1109/ELIT53502.2021.9501109>
17. Chuiko, G., Darnapuk, Y., Dvornik, O., Kraynik, Y., Yaremchuk, O., Davidenko, A. (2021). «Devil's stairs», Poisson's Statistics, and Patient Sorting via Variabilities for Oxygenation: All from Arterial Blood Gas Data. doi: <http://doi.org/10.1101/2021.08.10.455835>
18. Goldberger, A. L., Amaral, L. A. N., Glass, L., Hausdorff, J. M., Ivanov, P. C., Mark, R. G. et. al. (2000). PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a new research resource for complex physiologic signals. *Circulation*, 101 (23), e215–e220. doi: <http://doi.org/10.1161/01.cir.101.23.e215>
19. Ghassemi, M., Moody, B., Lehman, L., Song, C., Li, Q., Sun, H. et. al. (2018). You Snooze, You Win: The PhysioNet/Computing in Cardiology Challenge 2018. 2018 Computing in Cardiology Conference (CinC). doi: <http://doi.org/10.22489/cinc.2018.049>
20. Bernardin, L., Chin, P., DeMarco, P., Geddes, K. O., Hare, D. E. G., Heal, K. M. et. al. (2020). *Maple Programming Guide*. Maplesoft, a division of Waterloo Maple Inc. Available at: https://maplesoft.com/documentation_center/maple2020/ProgrammingGuide.pdf Last accessed: 21.09.2021
21. Karlis, D., Xekalaki, E. (2007). Mixed Poisson Distributions. *International Statistical Review*, 73 (1), 35–58. doi: <http://doi.org/10.1111/j.1751-5823.2005.tb00250.x>
22. Scott, D. W. (2010). Averaged shifted histogram. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2 (2), 160–164. doi: <http://doi.org/10.1002/wics.54>
23. Weglarczyk, S. (2018). Kernel density estimation and its application. *ITM Web of Conferences*, XLVIII Seminar of Applied Mathematics, 23 (2). doi: <http://doi.org/10.1051/itmconf/20182300037>
24. Tetrax: Fourier transformation of postural sway, Sunlight. Available at: <http://postureetmeasure.free.fr/docs/Tetrax-FourierTransformation.pdf> Last accessed: 21.09.2021
25. Amaral, L. (2012). A Brief Overview of Multifractal Time Series. Available at: <https://archive.physionet.org/tutorials/multifractal/> Last accessed: 21.09.2021
26. Banerjee, S., Easwaramoorthy, D., Gowrisankar, A. (2021). *Fractal Functions, Dimensions and Signal Analysis*. Cham: Springer. doi: <http://doi.org/10.1007/978-3-030-62672-3>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.243735

DEVELOPMENT OF A HEURISTIC TO SOLVE THE GENERAL TRANSPORTATION PROBLEM (p. 44–51)

Elias Munapo

North-West University, Mafikeng, South Africa
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6279-3729>

The transportation problem is well known and has very important applications. For this well-researched model, there are very efficient approaches for solving it that are available. These approaches include formulating the transportation problem as a linear program and then using the efficient methods such as the simplex method or interior point algorithms.

The Hungarian method is another efficient method for solving both the assignment model and the general transportation model. An assignment problem is a special case of the transportation model in which all supply and demand points are 1. Every transportation problem can be converted into an assignment problem since rows and columns can be split so that each supply and each demand point is 1.

The transportation simplex method is another method that is also used to solve the general transportation problem. This method is also called the modified distribution method (MODI). To use this approach, a starting solution is required and the closer the starting solution to the optimal solution, the fewer the iterations that are required to reach optimality.

The fourth method for transportation models is the network simplex method, which is the fastest so far. Unfortunately, all these approaches for transportation models are serial in nature and are very difficult to parallelize, which makes it difficult to efficiently use the available massively parallel technology. There is a need for an efficient approach for the transportation problem, which is easily parallelizable. This paper presents a See-Saw approach for solving the general transportation problem. This is an extension of the See-Saw approach for solving the assignment problem. The See-Saw moves can be done independently, which makes the

approach proposed in this paper more promising than the available methods for transportation models.

Keywords: transportation problem, Sew-Saw rule, linear programming, transportation simplex method.

References

1. Conte, D., Grossi, G., Lanzarotti, R., Lin, J., Petrini, A. (2021). Analysis of a parallel MCMC algorithm for graph coloring with nearly uniform balancing. *Pattern Recognition Letters*, 149, 30–36. doi: <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2021.05.014>
2. Kumar, S., Munapo, E., Nyamugure, P. (2021). An Insight into the Characteristic Equation for an Integer Program. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, 6 (2), 611–620. doi: <https://doi.org/10.33889/ijmems.2021.6.2.037>
3. Kline, A., Ahner, D., Hill, R. (2019). The Weapon-Target Assignment Problem. *Computers & Operations Research*, 105, 226–236. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.10.015>
4. Liu, Y., Tu, Y., Zhang, Z. (2021). The row pivoting method for linear programming. *Omega*, 100, 102354. doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2020.102354>
5. Castro, J., Nasini, S. (2021). A specialized interior-point algorithm for huge minimum convex cost flows in bipartite networks. *European Journal of Operational Research*, 290 (3), 857–869. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.10.027>
6. Rabbani, Q., Khan, A., Quddoos, A. (2019). Modified Hungarian method for unbalanced assignment problem with multiple jobs. *Applied Mathematics and Computation*, 361, 493–498. doi: <https://doi.org/10.1016/j.amc.2019.05.041>
7. Taha, H. A. (2017). *Operations Research: An Introduction*. Harlow, United Kingdom: Pearson.
8. Singh, G., Singh, A. (2021). Extension of particle swarm optimization algorithm for solving transportation problem in fuzzy environment. *Applied Soft Computing*, 110, 107619. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107619>
9. Holzhauser, M., Krumke, S. O., Thielen, C. (2017). A network simplex method for the budget-constrained minimum cost flow problem. *European Journal of Operational Research*, 259 (3), 864–872. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.11.024>
10. Micheli, G., Weger, V. (2019). On Rectangular Unimodular Matrices over the Algebraic Integers. *SIAM Journal on Discrete Mathematics*, 33 (1), 425–437. doi: <https://doi.org/10.1137/18m1177093>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.245703

BUILDING A MODEL OF THE PROCESS OF SHOOTING A MOBILE ARMORED TARGET WITH DIRECTED FRAGMENTATION-BEAM SHELLS IN THE FORM OF A DISCRETE-CONTINUOUS STOCHASTIC SYSTEM (p. 51–63)

Vadim Yakovenko

National Defence University of Ukraine
named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8591-6998>

Bohdan Volochiy

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5230-9921>

Yuriy Sydorenko

E. O. Paton Institute of Materials Science and Welding
of the National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8780-9459>

Nataliia Furmanova

Zaporizhzhia Polytechnic National University,
Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8670-2948>

Oleksandr Malyi

Zaporizhzhia Polytechnic National University,
Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8457-8154>

Anton Tkachenko

National Defence University of Ukraine
named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9145-7003>

Yurii Olshevskiy

National Defence University of Ukraine
named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4565-357X>

This paper describes the process of shooting a mobile armored combat vehicle with directed fragmentation-beam shells as a discrete-continuous random process. Based on this approach, a stochastic model has been proposed in the form of a system of Kolmogorov-Chapman differential equations.

A universal model of the process of defeating a moving armored target with directed fragmentation-beam shells has been built, which would provide preconditions for experimental studies into the effectiveness of various variants of the components of the artillery system for three-shot firing.

The execution of an artillery task is considered as a set of certain procedures characterized by the average value of its duration. They are dependent on the firing phases involving a prospective automatic gun and the explosive destruction of fragmentation-beam shells while the explosive destruction of each shell case is characterized by the self-propagation of the reaction of explosive transformations based on tabular data on the target. An indicator of the functionality of various design options for fragmentation-beam shells is the probability of causing damage by «useful fragments» in the vulnerable compartments of a combat armored vehicle.

Devising universal models for the process of shooting a moving armored vehicle forms preconditions for further full-time experiments in accordance with the design solutions defined as a result of modeling. It is possible to use the developed discrete-continuous stochastic model in other modeling tasks to determine the optimal value of defeat.

As regards the practical application of discrete-continuous stochastic models, one can argue about the possibility of reducing the cost of performing design tasks related to weapons by 25 % and decreasing the likelihood of making mistakes at the stage of system engineering design.

Keywords: discrete-continuous stochastic model, graph of states and transitions, fragmentation-beam shells.

References

1. Yakovenko, V. V., Grechanik, E. I., Abdullayev, R. Ya., Bychenkov, V. V., Gumenyuk, K. V., Sobko, I. V. (2020). Modeling of the influence of fragments of ammunition on the biological tissue of a military in protective elements of combat equipment. *Azerbaijan Medical Journal*, 5, 107–115. Available at: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85098947772&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=36783bf6d861a362f2d328b>

- 48616c985&sot=a&sdt=a&sl=17&s=SOURCE-ID+%2828079%29&relpos=67&citeCnt=0&searchTerm
2. Spear, D. G., Palazotto, A. N., Kemnitz, R. A. (2021). Modeling and Simulation Techniques Used in High Strain Rate Projectile Impact. *Mathematics*, 9 (3), 274. doi: <https://doi.org/10.3390/math9030274>
 3. Fares, J., Fares, Y. (2018). Cluster munitions: military use and civilian health hazards. *Bulletin of the World Health Organization*, 96 (8), 584–585. doi: <https://doi.org/10.2471/blt.17.202481>
 4. Zubov, V. N. (2017). Perspektivnye evropeyskie malokalibrynye boepripsy vozdušnogo podryva s programmiruemyimi vzryvatel'nyimi. *Izvestiya Rossiyskoy akademii raketnykh i artilleriyskikh nauk*, 4 (99), 105–114. Available at: http://bvtv.narod.ru/4/rarn_airburst.htm
 5. Safety, Reliability & Performance of the Ahead (ABM). Programmable Fuze System (2004). NDIA 39th Annual Gun & Ammunition. Baltimore. Available at: <https://present5.com/safety-reliability-performance-of-the-ahead-abm/>
 6. Piazza, E. (2000). Adaptive algorithms for real-time target extraction from a surface movement radar. P Parallel and Distributed Methods for Image Processing IV. doi: <https://doi.org/10.1117/12.403606>
 7. Sydorenko, Y. M., Semon, B. J., Yakovenko, V. V., Ryzhov, Y. V., Ivanyk, E. G. (2020). Spatial Distribution of Mass and Speed on Movement of Two Shrapnel Discs of Variable Thickness in Explosive Load. *Defence Science Journal*, 70 (5), 479–485. doi: <https://doi.org/10.14429/dsj.70.14524>
 8. Paschenko, V. I., Sidorenko, Yu. M. (2011). Komp'yuternoe modelirovanie processa vzryvnogo metaniya metallicheskoj plity. *Visnyk NTUU «KPI». Seriya «Mashynobuduvannia»*, 1 (61), 113–120. Available at: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/4165>
 9. Yakovenko, V., Khoma, V., Lyulka, O. (2019). Justification of the calculation order of efficiency indicators of armored fighting vehicles damaging by the direct fire of prospective anti-tank means. *Collection of Scientific Works of Odesa Military Academy*, 2 (12), 174–177. doi: <https://doi.org/10.37129/2313-7509.2019.12.2.174-177>
 10. Korolev, S. A., Lipanov, A. M., Tenenev, V. A., Rusyak, I. G. (2019). Simulation of the spatial motion of projectile in the presence of mass and shape asymmetry. *AIP Conference Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1063/1.5099871>
 11. Zhao, C., Wang, S., Guo, C., Liu, D., Ma, F. (2020). Experimental study on fragmentation of explosive loaded steel projectile. *International Journal of Impact Engineering*, 144, 103610. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2020.103610>
 12. Alan, C., Elvedin, K. (2021). Application of a terminal-ballistics model for estimating munition lethal radius on mortar projectiles and rocket warheads. *The Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology*, 154851292199879. doi: <https://doi.org/10.1177/1548512921998798>
 13. Li, H., Zhang, X., Gao, J. (2019). Modeling and calculation method of target damage based on multi-attitude flying projectile in space intersection. *Optik*, 180, 648–656. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2018.11.152>
 14. Romanov, N. I., Semenov, Yu. I., Zavalishin, Yu. I., Rodionov, F. F., Kudryavcev, V. N.; Romanov, N. I. (Ed.) (1973). *Teoriya strel'by iz tankov*. Moscow: Izdat. Akademii, 136–143. Available at: <https://cat.gpntb.ru/?id=FT/ShowFT&sid=db74f87c7e8e5832147e21825d08d99d&page=1&squery>
 15. Volochiy, B. Yu. (2004). *Tekhnolohiya modeliuвання alhorytmiv povedinky informatsiynykh system*. Lviv: Vyd-vo Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika», 220.
 16. Fedasyuk, D. V., Volochiy, S. B. (2016). Method of the structural-automaton models development for discrete-continuous stochastic systems. *Radioelektronni i kompiuterni systemy*, 6 (80), 24–34. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/recs_2016_6_6
 17. Zheng, K., Wang, Z. (2021). Numerical investigation on failure behavior of steel plate under explosive loading. *Science China Technological Sciences*, 64 (6), 1311–1324. doi: <https://doi.org/10.1007/s11431-020-1782-3>

АНОТАЦІЇ

MATHEMATICS AND CYBERNETICS – APPLIED ASPECTS

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.245222**РЕАЛІЗАЦІЯ НОВОГО ГІБРИДНОГО ЕВОЛЮЦІЙНОГО АЛГОРИТМУ З УПРАВЛІННЯМ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ДЛЯ ЗАДАЧ ОПТИМІЗАЦІЇ (с. 6–14)****Maan Afathi**

Основною метою використання гібридного еволюційного алгоритму є досягнення оптимальних значень і цілей, яких не можуть досягти традиційні методи, і оскільки існують різні еволюційні обчислення, кожен з них має різні переваги і можливості. Тому дослідники об'єднують більше одного алгоритму в гібридну форму для збільшення здатності цих алгоритмів виконувати еволюційні обчислення. У даній роботі пропонується новий алгоритм для гібридного генетичного алгоритму (GA) і оптимізації рою частинок (PSO) з управлінням на основі нечіткої логіки (FLC) для оптимізації функцій. Нечітка логіка застосовується для динамічного перемикавання між еволюційними алгоритмами для підвищення продуктивності алгоритму. Проведено порівняння гібридних еволюційних алгоритмів HEF з GA, PSO, GAPSO і PSOGA. При порівнянні використовуються різні функції вимірювання. Окрім сильно опуклих функцій, ці функції можуть бути рівномірно розподілені чи ні, і є важливими для оцінки нашого підходу. Для кожної функції використовувалися 500, 1000 і 1500 ітерацій. Ефективність алгоритму HEF була перевірена на чотирьох функціях. Новий алгоритм часто виявляється кращим рішенням, на нього припадає 75 % всіх випробувань. Цей метод перевершує традиційні методи з точки зору ефективності.

Ключові слова: еволюційні обчислення, GA, PSO, FLC, оптимізація, гібридний еволюційний алгоритм.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.234915**РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОГО АЛГОРИТМУ РОЗКИДАНОГО ПОШУКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ДИСКРЕТНО-ХАОТИЧНОЇ КАРТИ КОТА АРНОЛЬДА (с. 15–20)****Amaal Ghazi Hamad Rafash, Enas Mohammed Hussein Saeed, Al-Sharify Mushtaq Talib**

Вирішення задач оптимізації є предметом постійно зростаючого інтересу з величезною кількістю алгоритмів. Прикладами таких алгоритмів є розкиданий пошук (РП) і генетичні алгоритми. Зміна та вдосконалення алгоритмів може здійснюватися шляхом додавання різноманітності та орієнтованості. Хаотичні карти досить чутливі до початкової точки, що означає, що навіть невелика зміна значення початкової точки призведе до різкої зміни послідовності, створюваної хаотичною картою kota Арнольда. Карта kota Арнольда – це техніка хаотичної карти, яка надає довгі неповторювані випадкові послідовності.

Хаотичні карти відіграють важливу роль у вдосконаленні алгоритмів еволюційної оптимізації та метаевристики, уникаючи локальних оптимумів та прискорюючи збіжність. У даній роботі пропонується реалізація алгоритму розкиданого пошуку з комівояжером в якості прикладу, реалізується і порівнюється розроблений гіпер-метод розкиданого пошуку по карті kota Арнольда (РПККА) з традиційним алгоритмом розкиданого пошуку. РПККА – це гіпер-алгоритм розкиданого пошуку з хаотичним алгоритмом карти kota Арнольда. Розкиданий пошук по карті kota Арнольда показує багатообіцяючі результати за рахунок зменшення кількості ітерацій, необхідних для алгоритму розкиданого пошуку для отримання оптимального рішення (рішень). У даній роботі для демонстрації результатів модифікованого алгоритму розкиданого пошуку по карті kota Арнольда (РПККА) реалізована задача комівояжера, яка є популярним і добре відомим прикладом оптимізації. Реалізація обох алгоритмів здійснюється з однаковими параметрами: розмір популяції, кількість міст, максимальна кількість ітерацій, розмір еталонного набору і т.д. Результати показують поліпшення модифікованого алгоритму за кількістю ітерацій, необхідних для РП, зі скороченням ітерацій на 10–46 % і поліпшенням часу отримання рішень зі скороченням часу на 65 %.

Ключові слова: розкиданий пошук, карта kota Арнольда, хаотичний, ЗК, метаевристика, завдання оптимізації.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.245010**РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА АЛГОРИТМУ НАВЧАННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ІЗ РОЗРІДЖЕНИМИ ДИПОЛЬНИМИ СИНАПТИЧНИМИ ЗВ'ЯЗКАМИ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ (с. 21–27)****В. В. Литвин, Р. М. Пелещак, І. Р. Пелещак, О. І. Черняк, Л. І. Демків**

Для розв'язування задач розпізнавання спотворених образів за допомогою комп'ютерних систем використовуються структуровані нейронні мережі достатньо великого розміру. Однією з таких нейронних мереж, яка може повністю відновити спотворене зображення, є повнозв'язна псевдоспінова (дипольна) нейромережа, яка володіє асоціативною пам'яттю. При подачі на її вхід деякого образу вона автоматично відбирає і подає на вихід той образ, який є найбільш близьким до вхідного. Цей образ зберігається у пам'яті нейронної мережі в межах парадигми Хопфілда. У межах цієї парадигми можна запам'ятовувати і відтворювати масиви інформації, які володіють власною внутрішньою структурою.

З метою зменшення часу навчання розмір нейромережі мінімізують завдяки спрощенню її структури на основі одного із підходів: перший базується на «регуляризації», а другий – на вилученні із нейронної мережі синаптичних зв'язків. У запропонованій роботі спрощення структури повнозв'язної дипольної нейронної мережі базується саме на диполь-дипольній взаємодії між найближчими сусідніми нейронами мережі.

Запропоновано мінімізацію розміру нейронної мережі завдяки диполь-дипольним синаптичним зв'язкам між найближчими нейронами, що скорочує час обчислювального ресурсу при розпізнаванні спотворених образів. Виведено співвідношення для вагових коефіцієнтів синаптичних зв'язків між нейронами в дипольному наближенні. Розроблено алгоритм навчання дипольної нейронної мережі з розрідженими синаптичними зв'язками, яка базується на диполь-дипольній взаємодії між найближчими нейронами.

Проведено комп'ютерний експеримент, який показав, що нейронна мережа з розрідженими дипольними зв'язками у 3 рази швидше розпізнає спотворені образи (цифри від 0 до 9, які зображені на 25 пікселях), порівняно з повнозв'язною нейронною мережею.

Ключові слова: математична модель, нейронна мережа, розріджені дипольні синаптичні зв'язки, розпізнавання образів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.245017

КІБЕРНЕТИЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЗАПАСІВ (с. 28–37)

І. А. Луценко

Дослідження відносяться до області верифікації кібернетичних оціночних показників використання запасів в якості критеріїв ефективності систем перетворювального класу з безперервною подачею технологічного продукту.

Поставлена задача набула ще більшої популярності після появи удосконалених підходів, що дозволяють автоматично змінювати траєкторії управління роботи технологічних систем у режимі реального часу. У таких випадках оцінка поточної ситуації процесу та ефективності використання запасів стала невід'ємною частиною роботи підсистем управління. Тому розробка і верифікація кібернетичної оцінки ефективності для таких систем управління є актуальним завданням.

Першим етапом наукових досліджень була розробка кібернетичної моделі операції з розподіленими параметрами. Запропоновано чотири формальних ознаки. Знаходження інтегральної функції від цих ознак дало можливість отримати уявлення про деякі кількісні характеристики процесу, а знаходження другої інтегральної характеристики за часом дозволило відобразити фізико-кібернетичні параметри процесу.

На другому етапі були запропоновані формули розрахунку основних оціночних показників і проведена їх верифікація при трьох різних траєкторіях управління, яка показала адекватність розробленого підходу.

Завершальним етапом була розробка трьох варіацій формули ефективності, розрахунок якої відбувається у встановлені моменти часу упродовж усього виробничого циклу.

Таким чином кібернетична оцінка ефективності використання запасів дозволяє формалізувати і повністю автоматизувати процеси оптимізації і адаптації функціональних систем підприємства.

Ключові слова: запаси, кібернетика, система ефективності, критерій ефективності, важіль управління.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.244924

РОЗРОБКА МЕТОДУ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ ОКСИГЕНАЦІЇ АРТЕРІАЛЬНОЇ КРОВІ У ЗДОРОВИХ ДОРОСЛИХ (с. 37–43)

Г. П. Чуйко, Є. С. Дарнапук

Моніторинг сатурації артеріальної крові киснем (оксигенації) набули особливої ваги внаслідок пандемії COVID-19. Пропонується новий метод комп'ютерної обробки записів сатурації (так званих SaO_2 сигналів), заснований на вивченні диференціалів (інкрементів) від сигналів. Знаходження диференціалу для часового ряду передбачає обчислення різниці між парами його сусідніх елементів. Диференціал є ненульовим лише у випадку якщо елементи в парі є різними. Вивчення диференціалів разом з первинними сигналами для набору записів (20 суб'єктів) показує, що спектр спостережуваних рівнів сатурації крові є дискретним та обмеженим (від 2 до 10 рівнів). Окрім того, зміни рівнів сатурації (перемикання) відбуваються лише між найближчими рівнями.

Запропоновані нові показники варіабельності сатурації крові. Це частоти перемикань рівнів сатурації (інтенсивності подій) та інтервали поміж ними. Встановлено що ці показники описуються статистичними розподілами Пуассона та Ерланга відповідно. Порівняння нових показників варіабельності з найбільш надійним статистичним – міжквартильним діапазоном – показує, що нові показники так само передбачають поділ набору даних на три підгрупи за величиною варіабельності. Цей поділ є статистично значущим на довірчому рівні 0,99 в обох підходах, проте розподіл по підгрупах дещо різний у цих методах.

Показано, що запропоновані показники варіабельності SaO_2 сигналів є масштабне інваріантними, тобто не залежать від довжини інтервалу спостереження. Це є наслідком фрактальності позицій диференціалів на інтервалі спостереження. Встановлені частоти перемикань для підгруп у порядку збільшення варіабельності: (0,06, 0,11, та 0,20) Гц. Ці частоти проявляються на спектрах Фур'є диференціалів SaO_2 сигналів.

Ключові слова: оксигенація артеріальної крові, варіабельність, аналіз диференціалів, розподіли Пуассона та Ерланга, COVID-19.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.243735

РОЗРОБКА ЕВРИСТИКИ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАГАЛЬНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ (с. 44–51)

Elias Munapo

Транспортна задача добре відома і широко застосовується. Для цієї добре вивченої задачі існують дуже ефективні методи вирішення. Ці методи включають формулювання транспортної задачі у вигляді лінійної програми з подальшим використанням ефективних методів, таких як симплекс-метод або алгоритми внутрішніх точок.

Ще одним ефективним методом вирішення як задачі про призначення, так і загальної транспортної задачі, є Угорський метод. Задача про призначення є окремим випадком транспортної задачі, в якій всі точки пропозиції і попиту рівні 1. Кожну транспортну задачу можна перетворити на задачу про призначення, оскільки рядки і стовпці можна розділити таким чином, щоб кожна точка пропозиції і кожна точка попиту дорівнювали 1.

Транспортний симплекс-метод – це ще один спосіб, що також використовується для вирішення загальної транспортної задачі. Цей метод також називається модифікованим методом розповсюдження (МОДИ). Для використання цього підходу потрібне вихідне рішення, і чим ближче вихідне рішення до оптимального, тим менше ітерацій потрібно для досягнення оптимальності.

Четвертий метод вирішення транспортних задач – мережевий симплекс-метод, який на даний момент є найшвидшим. На жаль, всі ці методи вирішення транспортних задач носять послідовний характер і дуже важко піддаються розпаралелюванню, що ускладнює

ефективне використання наявної технології масового паралелізму. Необхідний ефективний метод вирішення транспортної задачі, який легко піддається розпаралелюванню. Для вирішення загальної транспортної задачі в роботі представлений метод гойдалки. Це розширення методу гойдалки для вирішення задачі про призначення. Рухи гойдалки можуть виконуватися незалежно, що робить запропонований метод більш перспективним, ніж доступні методи вирішення транспортних задач.

Ключові слова: транспортна задача, правило гойдалки, лінійне програмування, транспортний симплекс-метод.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.245703

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ОБСТРІЛУ РУХОМОЇ БРОНЬОВАНОЇ ЦІЛІ ОСКОЛКОВО-ПУЧКОВИМИ СНАРЯДАМИ НАПРАВЛЕНОЇ ДІЇ У ВИГЛЯДІ ДИСКРЕТНО-НЕПЕРЕРВНОЇ СТОХАСТИЧНОЇ СИСТЕМИ (с. 51–63)

В. В. Яковенко, Б. Ю. Волочій, Ю. М. Сидоренко, Н. І. Фурманова, О. Ю. Малий, А. А. Ткаченко, Ю. В. Ольшевський

Представлено процес обстрілу рухомої бойової броньованої машини з спрямованими осколково-пучковими снарядами у вигляді дискретно-неперервного випадкового процесу. На основі цього підходу була запропонована стохастична модель у вигляді системи диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена.

Розроблено універсальну модель процесу ураження рухомої броньованої цілі осколково-пучковими снарядами спрямованої дії, що створить передумови для проведення експериментальних досліджень ефективності різних варіантів складових артилерійського комплексу для стрільби з трьох пострілів.

Виконання вогневого завдання розглядається як набір певних процедур, що характеризуються середнім значенням її тривалості. Вони є залежними від фаз стрільби перспективною автоматичною гарматою та вибухового руйнування оболонок осколково-пучкових снарядів, а вибухове руйнування корпусу кожного снаряду характеризується саморозповсюдженням реакції вибухових перетворень на основі табличних даних про цілі. Показником функціональності різних варіантів конструкції осколково-пучкових снарядів є ймовірність нанесення збитків «корисними осколками» в уразливі відсіки бойової броньованої машини.

Розроблення універсальних моделей процесу обстрілу рухомої броньованої машин створює передумови для проведення подальших натурних експериментів відповідно до визначених в результаті моделювання конструктивних рішень. Можливе застосування розробленої дискретно-неперервної стохастичної моделі в інших задачах моделювання для визначення оптимального значення ураження.

У практичному застосуванні дискретно-неперервних стохастичних моделей можливо вести мову про можливість скорочення витрат на виконання проектних завдань озброєння на 25 % та зменшує ймовірність внесення помилок на етапі системотехнічного проектування.

Ключові слова: дискретно-неперервна стохастична модель, граф станів і переходів, осколково-пучкові снаряди.