

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.254023
METAHEURISTIC OPTIMIZATION ALGORITHM
BASED ON THE TWO-STEP ADAMS-BASHFORTH
METHOD IN TRAINING MULTI-LAYER
PERCEPTRONS (p. 6–13)

Hisham M. Khudhur

College of Computer Science and Mathematics
 University of Mosul, Mosul, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7572-9283>

Kais I. Ibraheem

College of Education for Pure Science
 University of Mosul, Mosul, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2776-6263>

The proposed metaheuristic optimization algorithm based on the two-step Adams-Bashforth scheme (MOABT) was used in this paper for Multilayer Perceptron Training (MLP). In computer science and mathematical examples, metaheuristic is high-level procedures or guidelines designed to find, devise, or select algorithmic research methods to obtain high-quality solutions to an example problem, especially if the information is insufficient or incomplete, or if computational capacity is limited. Many metaheuristic methods include some stochastic example operations, which means that the resulting solution is dependent on the random variables that are generated during the search. The use of higher evidence can frequently find good solutions with less computational effort than iterative methods and algorithms because it searches a broad range of feasible solutions at the same time. Therefore, metaheuristic is a useful approach to solving example problems. There are several characteristics that distinguish metaheuristic strategies for the research process. The goal is to efficiently explore the search perimeter to find the best and closest solution. The techniques that make up metaheuristic algorithms range from simple searches to complex learning processes. Eight model data sets are used to calculate the proposed approach, and there are five classification data sets and three proximate job data sets included in this set. The numerical results were compared with those of the well-known evolutionary trainer Gray Wolf Optimizer (GWO). The statistical study revealed that the MOABT algorithm can outperform other algorithms in terms of avoiding local optimum and speed of convergence to global optimum. The results also show that the proposed problems can be classified and approximated with high accuracy.

Keywords: algorithm, Adams-Bashforth method, approximation, classification, global, metaheuristic, multilayer, perceptron, training, optimization.

References

1. Yilmaz, M., Kayabasi, E., Akbaba, M. (2019). Determination of the effects of operating conditions on the output power of the inverter and the power quality using an artificial neural network. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22 (4), 1068–1076. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.02.006>
2. Vahora, S. A., Chauhan, N. C. (2019). Deep neural network model for group activity recognition using contextual relationship. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22 (1), 47–54. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.08.010>
3. Maleki, Ghazvini, Ahmadi, Maddah, Shamshirband. (2019). Moisture Estimation in Cabinet Dryers with Thin-Layer Relationships Using a Genetic Algorithm and Neural Network. *Mathematics*, 7 (11), 1042. doi: <https://doi.org/10.3390/math7111042>
4. Farzaneh-Gord, M., Mohseni-Gharyehsafa, B., Arabkoohsar, A., Ahmadi, M. H., Sheremet, M. A. (2020). Precise prediction of biogas thermodynamic properties by using ANN algorithm. *Renewable Energy*, 147, 179–191. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.112>
5. Basheer, I. A., Hajmeer, M. (2000). Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application. *Journal of Microbiological Methods*, 43 (1), 3–31. doi: [https://doi.org/10.1016/s0167-7012\(00\)00201-3](https://doi.org/10.1016/s0167-7012(00)00201-3)
6. Li, J., Cheng, J., Shi, J., Huang, F. (2012). Brief Introduction of Back Propagation (BP) Neural Network Algorithm and Its Improvement. *Advances in Computer Science and Information Engineering*, 553–558. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-30223-7_87
7. Aljarah, I., Faris, H., Mirjalili, S. (2016). Optimizing connection weights in neural networks using the whale optimization algorithm. *Soft Computing*, 22 (1), 1–15. doi: <https://doi.org/10.1007/s00500-016-2442-1>
8. Wang, L., Zeng, Y., Chen, T. (2015). Back propagation neural network with adaptive differential evolution algorithm for time series forecasting. *Expert Systems with Applications*, 42 (2), 855–863. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.08.018>
9. Yang, X. (2010). *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms*. Luniver Press, 75.
10. Wang, G.-G., Gandomi, A. H., Alavi, A. H., Hao, G.-S. (2013). Hybrid krill herd algorithm with differential evolution for global numerical optimization. *Neural Computing and Applications*, 25 (2), 297–308. doi: <https://doi.org/10.1007/s00521-013-1485-9>
11. Reed, R., Marks, R. J. (1999). *Neural Smithing*. The MIT Press. doi: <https://doi.org/10.7551/mitpress/4937.001.0001>
12. Dey, N., Ashour, A. S., Bhattacharyya, S. (Eds.) (2020). *Applied Nature-Inspired Computing: Algorithms and Case Studies*. Springer, 275. doi: <https://doi.org/10.1007/978-981-13-9263-4>
13. Dey, N. (Ed.) (2018). *Advancements in Applied Metaheuristic Computing*. IGI Global. doi: <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-4151-6>
14. Gandomi, A. H., Yang, X.-S., Alavi, A. H. (2013). Cuckoo search algorithm: a metaheuristic approach to solve structural optimization problems. *Engineering with Computers*, 29 (1), 17–35. doi: <https://doi.org/10.1007/s00366-011-0241-y>
15. Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., Lewis, A. (2014). Grey Wolf Optimizer. *Advances in Engineering Software*, 69, 46–61. doi: <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.12.007>
16. Mirjalili, S., Lewis, A. (2016). The Whale Optimization Algorithm. *Advances in Engineering Software*, 95, 51–67. doi: <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2016.01.008>
17. Yang, X.-S. (2009). *Firefly Algorithms for Multimodal Optimization*. *Lecture Notes in Computer Science*, 169–178. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-04944-6_14
18. Yang, X., Hossein Gandomi, A. (2012). Bat algorithm: a novel approach for global engineering optimization. *Engineering Computations*, 29 (5), 464–483. doi: <https://doi.org/10.1108/02644401211235834>
19. Yu, J., Wang, S., Xi, L. (2008). Evolving artificial neural networks using an improved PSO and DPSO. *Neurocomputing*, 71 (4-6), 1054–1060. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2007.10.013>
20. Valian, E., Mohanna, S., Tavakoli, S. (2011). Improved Cuckoo Search Algorithm for Feed forward Neural Network Training. *International Journal of Artificial Intelligence & Applications*, 2 (3), 36–43. doi: <https://doi.org/10.5121/ijaia.2011.2304>

21. Jaddi, N. S., Abdullah, S., Hamdan, A. R. (2015). Multi-population cooperative bat algorithm-based optimization of artificial neural network model. *Information Sciences*, 294, 628–644. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.08.050>
22. Mirjalili, S. (2015). How effective is the Grey Wolf optimizer in training multi-layer perceptrons. *Applied Intelligence*, 43 (1), 150–161. doi: <https://doi.org/10.1007/s10489-014-0645-7>
23. Nandy, S., Sarkar, P. P., Das, A. (2012). Analysis of a nature inspired firefly algorithm based back-propagation neural network training. arXiv. doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1206.5360>
24. Heidari, A. A., Faris, H., Aljarah, I., Mirjalili, S. (2018). An efficient hybrid multilayer perceptron neural network with grasshopper optimization. *Soft Computing*, 23 (17), 7941–7958. doi: <https://doi.org/10.1007/s00500-018-3424-2>
25. Xu, J., Yan, F. (2018). Hybrid Nelder–Mead Algorithm and Dragonfly Algorithm for Function Optimization and the Training of a Multi-layer Perceptron. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44 (4), 3473–3487. doi: <https://doi.org/10.1007/s13369-018-3536-0>
26. Tang, R., Fong, S., Dey, N. (2018). Metaheuristics and Chaos Theory. *Chaos Theory*. doi: <https://doi.org/10.5772/intechopen.72103>
27. Karaagac, B. (2019). Two step Adams Bashforth method for time fractional Tricomi equation with non-local and non-singular Kernel. *Chaos, Solitons & Fractals*, 128, 234–241. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2019.08.007>
28. Butcher, J. C. (2016). *Numerical Methods for Ordinary Differential Equations*. John Wiley & Sons. doi: <https://doi.org/10.1002/9781119121534>
29. Ahmadianfar, I., Heidari, A. A., Gandomi, A. H., Chu, X., Chen, H. (2021). RUN beyond the metaphor: An efficient optimization algorithm based on Runge Kutta method. *Expert Systems with Applications*, 181, 115079. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115079>
30. Belew, R. K., McInerney, J., Schraudolph, N. N. (1990). Evolving networks: Using the genetic algorithm with connectionist learning. CSE Technical report #CS90-174. Available at: <https://nic.schraudolph.org/pubs/BelMcISch92.pdf>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.254017

A NEW MODIFIED HS ALGORITHM WITH STRONG POWELL-WOLFE LINE SEARCH FOR UNCONSTRAINED OPTIMIZATION (p. 14–21)

Ghada Moayid Al-Naemi

University of Mosul, Mosul, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4295-6030>

Optimization is now considered a branch of computational science. This ethos seeks to answer the question «what is best?» by looking at problems where the quality of any answer can be expressed numerically. One of the most well-known methods for solving nonlinear, unrestricted optimization problems is the conjugate gradient (CG) method. The Hestenes and Stiefel (HS-CG) formula is one of the century's oldest and most effective formulas. When using an exact line search, the HS method achieves global convergence; however, this is not guaranteed when using an inexact line search (ILS). Furthermore, the HS method does not always satisfy the descent property. The goal of this work is to create a new (modified) formula by reformulating the classic parameter HS-CG and adding a new term to the classic HS-CG formula. It is critical that the proposed method generates sufficient descent property (SDP) search direction with Wolfe-Powell line (sWPLS) search at every iteration, and that global convergence property (GCP) for general non-convex functions can be guaranteed. Using the inexact sWPLS, the modified HS-CG (mHS-CG) method has SDP property regardless of line search type and guarantees GCP. When using an sWPLS,

the modified formula has the advantage of keeping the modified scalar non-negative sWPLS. This paper is significant in that it quantifies how much better the new modification of the HS performance is when compared to standard HS methods. As a result, numerical experiments between the mHSCG method using the sWPL search and the standard HS optimization problem show that the CG method with the mHSCG conjugate parameter is more robust and effective than the CG method without the mHSCG parameter.

Keywords: conjugate gradient method, descent direction, global property, strong Wolfe-Powell line search, unconstrained optimization.

References

1. Hestenes, M. R., Stiefel, E. (1952). Methods of conjugate gradients for solving linear systems. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 49 (6), 409. doi: <https://doi.org/10.6028/jres.049.044>
2. Fletcher, R. (1964). Function minimization by conjugate gradients. *The Computer Journal*, 7 (2), 149–154. doi: <https://doi.org/10.1093/comjnl/7.2.149>
3. Dai, Y.-H. (2001). New Conjugacy Conditions and Related Nonlinear Conjugate Gradient Methods. *Applied Mathematics and Optimization*, 43 (1), 87–101. doi: <https://doi.org/10.1007/s002450010019>
4. Al-Naemi, G. M. (2014). A Modified Hestenes-Stiefel Conjugate Gradient Method and its Global convergence for unconstrained optimization. *Iraqi Journal of Science*, 55 (1), 202–217. Available at: <https://iasj.net/iasj/download/9be4a3f4393e9e31>
5. Li, Y., Du, S. (2019). Modified HS conjugate gradient method for solving generalized absolute value equations. *Journal of Inequalities and Applications*, 2019 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s13660-019-2018-6>
6. Wang, G., Shan, R., Huang, W., Liu, W., Zhao, J. (2017). Two new spectral conjugate gradient algorithms based on Hestenes-Stiefel. *Journal of Algorithms & Computational Technology*, 11 (4), 345–352. doi: <https://doi.org/10.1177/1748301817725296>
7. Salleh, Z., Alhawarat, A. (2016). An efficient modification of the Hestenes-Stiefel nonlinear conjugate gradient method with restart property. *Journal of Inequalities and Applications*, 2016 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s13660-016-1049-5>
8. Japri, N. A., Basri, S., Mamat, M. (2021). New modification of the Hestenes-Stiefel with strong Wolfe line search. *AIP Conference Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1063/5.0053211>
9. Wu, X., Zhu, Y., Yin, J. (2021). A HS-PRP-Type Hybrid Conjugate Gradient Method with Sufficient Descent Property. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2021, 1–8. doi: <https://doi.org/10.1155/2021/2087438>
10. Zoutendij, G. (1970). Nonlinear programming, computational methods. *Integer and nonlinear programming*, 143, 37–86.
11. Malik, M., Mamat, S., Abas, S., Sulaiman, I. M., Sukono (2020). A new coefficient of the conjugate gradient method with the sufficient descent condition and global convergence properties. *Engineering Letters*, 28 (3), 704–714.
12. Hager, W., Zhang, H. (2006). A survey of non-linear conjugate gradient methods. *Pacific Journal of Optimization*, 2, 35–58.
13. Gilbert, J. C., Nocedal, J. (1992). Global Convergence Properties of Conjugate Gradient Methods for Optimization. *SIAM Journal on Optimization*, 2 (1), 21–42. doi: <https://doi.org/10.1137/0802003>
14. Bongartz, I., Conn, A. R., Gould, N., Toint, P. L. (1995). CUTE. *ACM Transactions on Mathematical Software*, 21 (1), 123–160. doi: <https://doi.org/10.1145/200979.201043>
15. Andrei, N. (2013). Test functions for unconstrained optimization. *ICI Technical Report*, 3–5.
16. Powell, M. J. D. (1977). Restart procedures for the conjugate gradient method. *Mathematical Programming*, 12 (1), 241–254. doi: <https://doi.org/10.1007/bf01593790>

17. Al-Namat, F. N., Al-Naemi, G. M. (2020). Global Convergence Property with Inexact Line Search for a New Hybrid Conjugate Gradient Method. *OALib*, 07 (02), 1–14. doi: <https://doi.org/10.4236/oalib.1106048>
18. Jardow, F. N., Al-Naemi, G. M. (2021). A new hybrid conjugate gradient algorithm as a convex combination of MMWU and RMIL nonlinear problems. *Journal of Interdisciplinary Mathematics*, 24 (3), 637–655. doi: <https://doi.org/10.1080/09720502.2020.1815346>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.254718

BUILDING A DYNAMIC MODEL OF PROFIT MAXIMIZATION FOR A CARSHARING SYSTEM ACCOUNTING FOR THE REGION'S GEOGRAPHICAL AND ECONOMIC FEATURES (p. 22–29)

Beibut Amirgaliyev

Astana IT University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0355-5856>

Yurii Andrashko

Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2306-8377>

Alexander Kuchansky

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1277-8031>

This paper describes a dynamic model of profit maximization for a car-sharing system, taking into consideration the geographical and economic characteristics of a region. To solve the model construction task, a technique to cover the region with geometric shapes has been described. It was established that when modeling a car-sharing system, it is rational to cover a region with a grid of equal regular hexagons located side to side. For each subregion, quantitative parameters were calculated: the number of free cars in the subregions, the probability of a car traveling from one sub-region to another, the cost of maintenance and operation of the car, and the income from the trip. This takes into consideration the dynamic nature of the specified parameters. Based on these parameters, an objective function is constructed including constraints for the dynamic model. These constraints take into consideration the economic and geographical features of each subregion.

A dynamic profit maximization model was built for the car-sharing system in the city of New York (USA) based on the TCL dataset. To calculate the parameters of the model, data on 776,285,070 trips over the period from January 2016 to July 2021 were used. Maps of the beginning and completion of trips in the region and a map of trips tied to hexagonal grid cells using the Kepler visualization service have been built. The frameworks H3 and S2 were analyzed in terms of determining the length of the route between the subregions. Modeling was carried out according to the built unidirectional dynamic model of profit maximization. It has been established that taking into consideration the average economic and geographical characteristics of a region makes it possible to increase the profit of the car-sharing system by 12.36 %. Accounting for the dynamics of economic and geographical features of the region of customers in the model makes it possible to increase profits by an additional 4.18 %.

Keywords: car sharing, discrete optimization, dynamic model, hexagonal tessellation, profit maximization, Uber H3.

References

1. Shared Economy: We Work, Uber, Airbnb and Lyft (2020). BCC Research. Available at: <https://www.bccresearch.com/market-research/finance/shared-economy-wework-uber-airbandb-lyft-market.html>

2. Shaheen, S. A., Cohen, A. P. (2007). Growth in Worldwide Car-sharing. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1992 (1), 81–89. doi: <https://doi.org/10.3141/1992-10>
3. Rycerski, P., Koutra, S., Genikomsakis, K. N., Ioakeimidis, C. S. (2016). A university survey with a comparative study of an E-bikes sharing system. *EVS 2016 – 29th Int. Electr. Veh. Symp*, Montreal, 1–11.
4. Bruglieri, M., Colorni, A., Luè, A. (2014). The Vehicle Relocation Problem for the One-way Electric Vehicle Sharing: An Application to the Milan Case. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 111, 18–27. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.034>
5. Jorge, D., Molnar, G., de Almeida Correia, G. H. (2015). Trip pricing of one-way station-based carsharing networks with zone and time of day price variations. *Transportation Research Part B: Methodological*, 81, 461–482. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2015.06.003>
6. Nourinejad, M., Roorda, M. J. (2014). A dynamic carsharing decision support system. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 66, 36–50. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.03.003>
7. Nozari, M. A., Ghadikolaie, A. S., Govindan, K., Akbari, V. (2021). Analysis of the sharing economy effect on sustainability in the transportation sector using fuzzy cognitive mapping. *Journal of Cleaner Production*, 311, 127331. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127331>
8. Giorgione, G., Bolzani, L., Viti, F. (2021). Assessing Two-way and One-way Carsharing: an Agent-Based Simulation Approach. *Transportation Research Procedia*, 52, 541–548. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.01.064>
9. Correia, G. H. D. A., Jorge, D. R., Antunes, D. M. (2014). The Added Value of Accounting For Users' Flexibility and Information on the Potential of a Station-Based One-Way Car-Sharing System: An Application in Lisbon, Portugal. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 18 (3), 299–308. doi: <https://doi.org/10.1080/15472450.2013.836928>
10. Boyaci, B., Zografos, K. G., Geroliminis, N. (2017). An integrated optimization-simulation framework for vehicle and personnel relocations of electric carsharing systems with reservations. *Transportation Research Part B: Methodological*, 95, 214–237. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2016.10.007>
11. Perboli, G., Ferrero, F., Musso, S., Vesco, A. (2018). Business models and tariff simulation in car-sharing services. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 115, 32–48. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.09.011>
12. Liao, F., Correia, G. (2020). Electric carsharing and micromobility: A literature review on their usage pattern, demand, and potential impacts. *International Journal of Sustainable Transportation*, 16 (3), 269–286. doi: <https://doi.org/10.1080/15568318.2020.1861394>
13. Li, X., Wang, C., Huang, X. (2020). DDKSP: A Data-Driven Stochastic Programming Framework for Car-Sharing Relocation Problem. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*. doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2001.08109>
14. TLC Trip Record Data. Available at: <https://www1.nyc.gov/site/tlc/about/tlc-trip-record-data.page>
15. Venkat, E. (2021). Uber H3 for Data Analysis with Python. *Towards Data Science*. Available at: <https://towardsdatascience.com/uber-h3-for-data-analysis-with-python-1e54acdc908>
16. H3. Hexagonal hierarchical geospatial indexing system. *Uber Technologies*. Available at: <https://h3geo.org>
17. S2 Geometry. Available at: <https://s2geometry.io/>
18. GADM maps and data. *GADM*. Available at: <https://gadm.org/index.html>

19. Make an impact with your location data. Available at: <https://kepler.gl>
20. New York city carshare. Hunter Studio (2019). Available at: http://www.hunterurban.org/wp-content/uploads/2019/09/New-York-City-Carshare_Final-Report_reduced-2-1.pdf
21. IBM ILOG CPLEX Optimizer. IBM. Available at: <https://www.ibm.com/analytics/cplex-optimizer>
22. Honcharenko, T., Ryzhakova, G., Borodavka, Ye., Ryzhakov, D., Savenko, V., Polosenko, O. (2021). Method for representing spatial information of topological relations based on a multidimensional data model. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 16 (7), 802–809. Available at: http://www.arnpjournals.org/jeas/research_papers/rp_2021/jeas_0421_8555.pdf
23. Kuchansky, A., Biloshchytskyi, A., Andrashko, Y., Vatskel, V., Biloshchytska, S., Danchenko, O., Vatskel, I. (2018). Combined Models for Forecasting the Air Pollution Level in Infocommunication Systems for the Environment State Monitoring. 2018 IEEE 4th International Symposium on Wireless Systems Within the International Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS-SWS). doi: <https://doi.org/10.1109/idaacs-sws.2018.8525608>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.254333

IMPACT OF TIME SERIES PREDICTION TO THE ONLINE BOOKING SYSTEM (INTERNET) ON THE LIBRARIES EMPLOYING POISSON LOGARITHMIC LINEAR MODEL (p. 30–37)

Asmaa Mohammed Nasir

College of Science

Mustansiriyah University, Baghdad, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9098-5410>

In this study, the effect on the series prediction of the financial system of the central library has been investigated and analyzed accordingly. Four models have been conducted to analyze the series prediction of the library as well as to investigate the monthly income. These models included the Seasonal indexing model (SIM) and Prediction of ARIMA model (PARIMA). Furthermore, Poisson logarithmic linear model has been applied for all suggested models accordingly. The results based on the given models have been verified based on Heteroskedasticity Test. Six months have been included beginning with Jan and ending with Jun. According to the statistical analysis, the verification method used the Heteroskedasticity test. The results revealed that the three models have been verified and were ready to be employed in the next step of the procedure. A certain effective model was employed to predict time series for the used period (Jan to Jun). At these indexations, the lag value has reached a maximum of 0.98. In April, the correlation reached 0.344. Seasonal indexation values for the chosen time have been explained (six months). The figures shifted from month to month. According to the investigation, the highest degree of indexation occurred in April and the lowest level occurred in June. The linear Poisson logarithmic distribution has been explored and examined. At the SIM model, the standard error was reported within the maximum level of 0.3. From the beginning of the year through the end of the year, six months have been documented (X1 to X6). The month of March was the most deviant. In January, the residual Dif has achieved its greatest value of 0.092.

Keywords: financial system, time series prediction, PFO, Poisson logarithmic, mathematical model.

References

1. Yan, H., Ouyang, H. (2017). Financial Time Series Prediction Based on Deep Learning. *Wireless Personal Communications*, 102 (2), 683–700. doi: <https://doi.org/10.1007/s11277-017-5086-2>
2. Niu, H., Wang, J. (2013). Financial time series prediction by a random data-time effective RBF neural network. *Soft Computing*, 18 (3), 497–508. doi: <https://doi.org/10.1007/s00500-013-1070-2>
3. Zhang, Y., Wang, X., Tang, H. (2019). An improved Elman neural network with piecewise weighted gradient for time series prediction. *Neurocomputing*, 359, 199–208. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2019.06.001>
4. Wang, J., Wang, J., Fang, W., Niu, H. (2016). Financial Time Series Prediction Using Elman Recurrent Random Neural Networks. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2016, 1–14. doi: <https://doi.org/10.1155/2016/4742515>
5. Bai, Y., Jin, X., Wang, X., Su, T., Kong, J., Lu, Y. (2019). Compound Autoregressive Network for Prediction of Multivariate Time Series. *Complexity*, 2019, 1–11. doi: <https://doi.org/10.1155/2019/9107167>
6. Moews, B., Herrmann, J. M., Ibikunle, G. (2019). Lagged correlation-based deep learning for directional trend change prediction in financial time series. *Expert Systems with Applications*, 120, 197–206. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.027>
7. Wen, J., Yang, J., Jiang, B., Song, H., Wang, H. (2021). Big Data Driven Marine Environment Information Forecasting: A Time Series Prediction Network. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 29 (1), 4–18. doi: <https://doi.org/10.1109/tfuzz.2020.3012393>
8. Sapankevych, N., Sankar, R. (2009). Time Series Prediction Using Support Vector Machines: A Survey. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 4 (2), 24–38. doi: <https://doi.org/10.1109/mci.2009.932254>
9. Ahlmann-Eltze, C., Huber, W. (2020). glmGamPoi: fitting Gamma-Poisson generalized linear models on single cell count data. *Bioinformatics*, 36 (24), 5701–5702. doi: <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btaa1009>
10. Alanaz, M. M., Algamal, Z. Y. (2018). Proposed methods in estimating the ridge regression parameter in Poisson regression model. *Electronic Journal of Applied Statistical Analysis*, 11 (2), 506–515. doi: <https://doi.org/10.1285/i20705948v11n2p506>
11. Xu, T., Demmer, R. T., Li, G. (2020). Zero-inflated Poisson factor model with application to microbiome read counts. *Biometrics*, 77 (1), 91–101. doi: <https://doi.org/10.1111/biom.13272>
12. Gao, G., Wang, H., Wüthrich, M. V. (2021). Boosting Poisson regression models with telematics car driving data. *Machine Learning*, 111 (1), 243–272. doi: <https://doi.org/10.1007/s10994-021-05957-0>
13. Tamba, S. P., Batubara, M. D., Purba, W., Sihombing, M., MuliaSiregar, V. M., Banjarnahor, J. (2019). Book data grouping in libraries using the k-means clustering method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1230 (1), 012074. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1230/1/012074>
14. Black, A. (2018). The British Soldier and his Libraries, c. 1822–1901. By Sharon Murphy. *The Library*, 19 (2), 247–250. doi: <https://doi.org/10.1093/library/19.2.247>
15. Askew, B., Brown, A., Christy, M., Gomez, A., Gooch, M., Kubicki, J. M. et. al. (2020). Georgia libraries respond to COVID-19 pandemic. *Georgia Library Quarterly*, 57 (3). Available at: <https://digitalcommons.kennesaw.edu/glq/vol57/iss3/10/>
16. Stepanova, O. (2019). PLRE.Folger: Private Libraries in Renaissance England. *Renaissance & Reformation/Renaissance etReforme*, 42 (4), 176–179.
17. Jin, Z. (2018). Research on Chinese Electronic Book Retrieval in University Libraries. *Proceedings of the 2018 2nd International Conference on Education Science and Economic Management (ICESEM 2018)*. doi: <https://doi.org/10.2991/icesem-18.2018.125>
18. Kirichenko, L., Radivilova, T., Bulakh, V. (2019). Binary Classification of Fractal Time Series by Machine Learning Methods. *Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making*, 701–711. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-26474-1_49

19. Pala, Z., Atici, R. (2019). Forecasting Sunspot Time Series Using Deep Learning Methods. *Solar Physics*, 294 (5). doi: <https://doi.org/10.1007/s11207-019-1434-6>
20. Zhang, X., Lin, Q., Xu, Y., Qin, S., Zhang, H., Qiao, B. et. al. (2019). Cross-dataset time series anomaly detection for cloud systems. 2019 USENIX Annual Technical Conference, 1063–1076. Available at: <https://www.usenix.org/system/files/atc19-zhang-xu.pdf>
21. McClary, T., Rawlins, S. (2020). Libraries = Success: NJ Libraries and Schools Conquer Library Card Sign-Up Month. *Children and Libraries*, 18 (2), 19–21. doi: <https://doi.org/10.5860/cal.18.2.19>
22. Hicks, D., Cavanagh, M. F., VanScoy, A. (2020). Social network analysis: A methodological approach for understanding public libraries and their communities. *Library & Information Science Research*, 42 (3), 101029. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lisr.2020.101029>
23. Pebesma, E. (2018). Simple Features for R: Standardized Support for Spatial Vector Data. *The R Journal*, 10 (1), 439. doi: <https://doi.org/10.32614/rj-2018-009>
24. Campos-Taberner, M., García-Haro, F. J., Martínez, B., Izquierdo-Verdiguier, E., Atzberger, C., Camps-Valls, G., Gilabert, M. A. (2020). Understanding deep learning in land use classification based on Sentinel-2 time series. *Scientific Reports*, 10 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74215-5>
25. Lim, B., Zohren, S., Roberts, S. (2019). Enhancing Time-Series Momentum Strategies Using Deep Neural Networks. *The Journal of Financial Data Science*, 1 (4), 19–38. doi: <https://doi.org/10.3905/jfds.2019.1.015>
26. Torres, J. F., Galicia, A., Troncoso, A., Martínez-Álvarez, F. (2018). A scalable approach based on deep learning for big data time series forecasting. *Integrated Computer-Aided Engineering*, 25 (4), 335–348. doi: <https://doi.org/10.3233/ica-180580>
27. Boman, C. (2019). An exploration of machine learning in libraries. *Library Technology Reports*, 55 (1), 21–25. Available at: <https://journals.ala.org/index.php/ltr/article/view/6911/9309>
28. Ross, C. S., McKechnie, L. E., Rothbauer, P. M. (2018). Reading still matters: What the research reveals about reading, libraries, and community. ABC-CLIO.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.254261

DEVELOPMENT OF PARALLEL IMPLEMENTATION FOR THE NAVIER-STOKES EQUATION IN DOUBLY CONNECTED AREAS USING THE FICTITIOUS DOMAIN METHOD (p. 38–46)

Almas Temirbekov

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4157-2799>

Arshyn Altybay

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4939-8876>

Laura Temirbekova

Abai Kazakh National Pedagogical University,
Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2456-9974>

Syrym Kasenov

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0097-1873>

This paper presents a numerical realization of the Navier-Stokes equations in irregular domains using the fictitious domain method with a continuation along with the lowest coefficient. To solve numerous connected issues in irregular regions, the fictitious domain

method is broadly used. The advantage of the fictitious domain method is that the problem is solved not in the original complex domain, but in a few other, easier domains. Using the method, computation is done easily for a sufficiently wide class of problems with arbitrary computational domains.

The problem is solved using two methods. The primary method is based on the development of a distinct issue in variables of the stream function and the vortex velocity using the pressure uniqueness condition. The second method is to understand the expressed issue by the fictitious domain method with a continuation by lower coefficients.

Using the fictitious domain method, a computational algorithm is constructed based on the explicit finite difference schemes. The finite difference scheme is stable and has high computational accuracy and it gives the possibility to parallelize. Temperature distributions and stream functions are presented as numerical results.

A parallel algorithm has been developed using Open Multi-Processing (hereinafter OpenMP) and Message Passing Interface (hereinafter MPI) technologies. Within the parallel approach, we used OpenMP technology for parallel calculation of vorticity and stream work, and for calculating temperature we applied MPI technology. The performance analysis on our parallel code shows favorable strong and weak scalability. The test results show that the code running in the parallel approach gives the expected results by comparing our results with those obtained while running the same simulation on the central processing unit (CPU).

Keywords: Navier-Stokes equations, stream function, vorticity, numerical methods, parallel algorithm.

References

1. Glowinski, R., Pan, T.-W. (1992). Error estimates for fictitious domain/penalty/finite element methods. *Calcolo*, 29 (1-2), 125–141. doi: <https://doi.org/10.1007/bf02576766>
2. Glowinski, R., Pan, T. W., Hesla, T. I., Joseph, D. D., Périaux, J. (2001). A Fictitious Domain Approach to the Direct Numerical Simulation of Incompressible Viscous Flow past Moving Rigid Bodies: Application to Particulate Flow. *Journal of Computational Physics*, 169 (2), 363–426. doi: <https://doi.org/10.1006/jcph.2000.6542>
3. He, Q., Glowinski, R., Wang, X.-P. (2018). A least-squares/fictitious domain method for incompressible viscous flow around obstacles with Navier slip boundary condition. *Journal of Computational Physics*, 366, 281–297. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2018.04.013>
4. Court, S. (2019). A fictitious domain approach for a mixed finite element method solving the two-phase Stokes problem with surface tension forces. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 359, 30–54. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cam.2019.03.029>
5. He, Q., Huang, J., Shi, X., Wang, X.-P., Bi, C. (2017). Numerical simulation of 2D unsteady shear-thinning non-Newtonian incompressible fluid in screw extruder with fictitious domain method. *Computers & Mathematics with Applications*, 73 (1), 109–121. doi: <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2016.11.005>
6. Xia, Y., Yu, Z., Deng, J. (2019). A fictitious domain method for particulate flows of arbitrary density ratio. *Computers & Fluids*, 193, 104293. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2019.104293>
7. Fournié, M., Morrison, J. (2017). Fictitious domain for stabilization of fluid-structure interaction. *IFAC-PapersOnLine*, 50 (1), 12301–12306. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2478>
8. Wang, Y., Jimack, P. K., Walkley, M. A. (2019). Energy analysis for the one-field fictitious domain method for fluid-structure interactions. *Applied Numerical Mathematics*, 140, 165–182. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apnum.2019.02.003>
9. Wu, M., Peters, B., Rosemann, T., Kruggel-Emden, H. (2020). A forcing fictitious domain method to simulate fluid-particle interaction of particles with super-quadric shape. *Powder Technology*, 360, 264–277. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.09.088>

10. Zhou, G. (2018). The fictitious domain method with H1-penalty for the Stokes problem with Dirichlet boundary condition. *Applied Numerical Mathematics*, 123, 1–21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apnum.2017.08.005>
11. Mottahedi, H. R., Anbarsooz, M., Passandideh-Fard, M. (2018). Application of a fictitious domain method in numerical simulation of an oscillating wave surge converter. *Renewable Energy*, 121, 133–145. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.021>
12. Wang, C., Sun, P. (2016). A Fictitious Domain Method with Distributed Lagrange Multiplier for Parabolic Problems With Moving Interfaces. *Journal of Scientific Computing*, 70 (2), 686–716. doi: <https://doi.org/10.1007/s10915-016-0262-1>
13. Sun, P., Wang, C. (2020). Distributed Lagrange multiplier/fictitious domain finite element method for Stokes/parabolic interface problems with jump coefficients. *Applied Numerical Mathematics*, 152, 199–220. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apnum.2019.12.009>
14. Sun, P. (2019). Fictitious domain finite element method for Stokes/elliptic interface problems with jump coefficients. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 356, 81–97. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cam.2019.01.030>
15. Temirbekov, A. N., Wójcik, W. (2014). Numerical Implementation of the Fictitious Domain Method for Elliptic Equations. *International Journal of Electronics and Telecommunications*, 60 (3), 219–223. doi: <https://doi.org/10.2478/eletel-2014-0027>
16. Temirbekov, A. N. (2016). Numerical implementation of the method of fictitious domains for elliptic equations. *AIP Conference Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1063/1.4959667>
17. Heikkola, E., Rossi, T., Toivanen, J. (2003). A Parallel Fictitious Domain Method for the Three-Dimensional Helmholtz Equation. *SIAM Journal on Scientific Computing*, 24 (5), 1567–1588. doi: <https://doi.org/10.1137/s1064827500370305>
18. Yu, Z., Lin, Z., Shao, X., Wang, L.-P. (2016). A parallel fictitious domain method for the interface-resolved simulation of particle-laden flows and its application to the turbulent channel flow. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 10 (1), 160–170. doi: <https://doi.org/10.1080/19942060.2015.1092268>
19. Ruess, M., Varduhn, V., Rank, E., Yosibash, Z. (2012). A Parallel High-Order Fictitious Domain Approach for Biomechanical Applications. 2012 11th International Symposium on Parallel and Distributed Computing. doi: <https://doi.org/10.1109/ispd.2012.45>
20. Üstoğlu Ünal, V. (2013). Parallel numerical solution of incompressible full Navier-Stokes in 3-D. *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 23 (4), 553–574. doi: <https://doi.org/10.1108/09615531311323737>
21. Yin, Z., Yuan, L., Tang, T. (2005). A new parallel strategy for two-dimensional incompressible flow simulations using pseudo-spectral methods. *Journal of Computational Physics*, 210 (1), 325–341. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2005.04.010>
22. Passoni, G., Alfonsi, G., Tula, G., Cardu, U. (1999). A wavenumber parallel computational code for the numerical integration of the Navier-Stokes equations. *Parallel Computing*, 25 (5), 593–611. doi: [https://doi.org/10.1016/s0167-8191\(99\)00003-4](https://doi.org/10.1016/s0167-8191(99)00003-4)
23. Altybay, A., Ruzhansky, M., Tokmagambetov, N. (2020). A parallel hybrid implementation of the 2D acoustic wave equation. *International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation*, 21 (7-8), 821–827. doi: <https://doi.org/10.1515/ijnsns-2019-0227>
24. Ladyzhenskaya, O. (1969). *The Mathematical Theory of Viscous Incompressible Flow*. Gordon and Breach.
25. Syrochenko, V. P. (2001). Numerical modeling of convective flows of a viscous fluid in multiply connected regions. *Proceedings of the International Conference RDAMM-2001*, 554–562.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.254023

МЕТАЕВРИСТИЧНИЙ АЛГОРИТМ ОПТИМІЗАЦІЇ НА ОСНОВІ ДВОКРОКОВОГО МЕТОДУ АДАМСА-БАШФОРТА ПРИ НАВЧАННІ БАГАТОШАРОВИХ ПЕРЦЕПТРОНІВ (с. 6–13)

Hisham M. Khudhur, Kais I. Ibraheem

Для навчання багатошарових перцептронів (MLP) у даній роботі було використано запропонований метаевристичний алгоритм оптимізації на основі двокрокового методу Адамса-Башфорта (МОАВТ). В інформатиці та математиці метаевристика є високо-рівневими процедурами або рекомендаціями з пошуку, розробки або вибору алгоритмічних методів дослідження для отримання якісних рішень задач, особливо при недостатній або неповній інформації, або обмежених обчислювальних можливостях. Багато метаевристичних методів включають деякі стохастичні операції, що означає залежність отриманого рішення від випадкових величин, що генеруються під час пошуку. Вищевикладене часто дозволяє знаходити хороші рішення з меншими обчислювальними витратами, ніж ітеративні методи та алгоритми, оскільки одночасно виконується пошук широкого спектру можливих рішень. Таким чином, метаевристика є ефективним методом вирішення задач. Існує кілька характеристик, що відрізняють метаевристичні стратегії дослідницького процесу. Мета полягає в тому, щоб ефективно досліджувати периметр пошуку для знаходження найкращого та найближчого рішення. Методи, що складають метаевристичні алгоритми, варіюються від простого пошуку до складних процесів навчання. Для розрахунку запропонованого підходу використовуються вісім наборів даних моделювання, включаючи п'ять наборів даних класифікації і три набори даних апроксимації. Численні результати були зіставлені з результатами відомого еволюційного методу навчання Алгоритм зграї сірих вовків (GWO). Статистичне дослідження показало, що алгоритм МОАВТ може перевершувати інші алгоритми з точки зору уникнення локального оптимуму та швидкості збіжності до глобального оптимуму. Результати також показують можливість високоточної класифікації та апроксимації запропонованих задач.

Ключові слова: алгоритм, метод Адамса-Башфорта, апроксимація, класифікація, глобальний, метаевристика, багатошаровий, перцептрон, навчання, оптимізація.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.254017

НОВИЙ МОДИФІКОВАНИЙ АЛГОРИТМ ХЕСТЕНСА-ШТИФЕЛЯ З ПОСИЛЕНИМ ЛІНІЙНИМ ПОШУКОМ ЗА ВУЛЬФОМ-ПАУЕЛЛОМ ДЛЯ НЕОБМЕЖЕНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ (с. 14–21)

Ghada Moayid Al-Naemi

Оптимізація є розділом обчислювальної науки. Ця сфера спрямована на те, щоб відповісти на питання «що краще?», розглядаючи задачі, в яких якість будь-якої відповіді може бути виражена чисельно. Одним з найбільш відомих методів вирішення нелінійних задач необмеженої оптимізації є метод пов'язаних градієнтів (CG). Однією із найстаріших та найбільш ефективних формул століття є формула Хестенса-Штифеля (HS-CG). При використанні точного лінійного пошуку метод HS забезпечує глобальну збіжність, на відміну від неточного лінійного пошуку (ILS). Крім того, метод HS не завжди задовольняє властивості спуску. Метою даної роботи є створення нової (модифікованої) формули шляхом переформулювання класичного параметра HS-CG і додавання нового члена в класичну формулу HS-CG. Важливо, щоб запропонований метод генерував напрямком пошуку достатньої властивості спуску (SDP) при лінійному пошуку за Вульфмом-Пауеллом (sWPLS) на кожній ітерації і забезпечував властивість глобальної збіжності (GCP) для загальних неопуклих функцій. При використанні неточного sWPLS, модифікований метод HS-CG (mHS-CG) має властивість SDP незалежно від типу лінійного пошуку та гарантує GCP. Перевага модифікованої формули при використанні sWPLS полягає у збереженні модифікованого скалярного невід'ємного sWPLS. Важливість даної роботи полягає у кількісній оцінці того, наскільки краще нова модифікація HS в порівнянні зі стандартними методами HS. В результаті чисельні експерименти з використанням методу mHSCG за допомогою пошуку sWPL та стандартної задачі оптимізації HS показують, що метод CG з параметром сполучення mHSCG є більш надійним та ефективним, ніж метод CG без параметра mHSCG.

Ключові слова: метод пов'язаних градієнтів, напрямком спуску, глобальна властивість, посилений лінійний пошук за Вульфмом-Пауеллом, необмежена оптимізація.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.254718

РОЗРОБКА ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ МАКСИМІЗАЦІЇ ПРИБУТКУ ДЛЯ СИСТЕМИ КАРШЕРІНГУ З ВРАХУВАННЯМ ГЕОГРАФІЧНИХ ТА ЕКОНОМІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ РЕГІОНУ (с. 22–29)

Veibut Amirgaliyev, Ю. В. Андрашко, О. Ю. Кучанський

Описано динамічну модель максимізації прибутку для системи каршерінгу з врахуванням географічних та економічних особливостей регіону. Для вирішення задачі побудови моделі описано спосіб покриття регіону геометричними фігурами. Встановлено, що при моделюванні системи каршерінгу раціональним є покриття регіону сіткою з рівних правильних шестикутників, що розташовані сторона до сторони. Для кожного підрегіону розраховані кількісні параметри: кількість вільних автомобілів в підрегіонах, ймовірність поїздки автомобіля з одного підрегіону в інший, витрати на технічне обслуговування та експлуатацію автомобіля та дохід від поїздки. При цьому враховується динамічний характер вказаних параметрів. На основі даних параметрів будується цільова функція та обмеження для динамічної моделі. Ці обмеження враховують економічні та географічні особливості кожного підрегіону.

Було побудовано динамічну модель максимізації прибутку для системи каршерінгу м. Нью-Йорк (США) на основі даних датасету TCL. Для обчислення параметрів моделі було використано дані про 776 285 070 поїздок за період з січня 2016 р. по липень 2021 р. Побудовано мапи початку та завершення поїздок в регіоні та мапу поїздок з прив'язкою до комірок гексагональної сітки за допомогою

сервісу візуалізації Kepler. Проаналізовано фреймворки H3 та S2 в частині визначення довжини маршруту між під регіонами. Проведено моделювання за побудованою однонаправленою динамічною моделлю максимізації прибутку. Встановлено, що врахування усе-реднених економічних та географічних особливостей регіону дозволяє збільшити прибуток системи каршерінгу на 12,36 %. Врахування в моделі динаміки економічних та географічних особливостей регіону клієнтів дозволяє збільшити прибуток додатково на 4.18 %.

Ключові слова: каршерінг, дискретна оптимізація, динамічна модель, гексагональна теселяція, максимізація прибутку, Uber H3.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.254333

ВПЛИВ ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСОВИХ РЯДІВ В СИСТЕМІ ОНЛАЙН-БРОНЮВАННЯ (ІНТЕРНЕТ) НА БІБЛІОТЕКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЛОГАРИФМІЧНОЇ ЛІНІЙНОЇ МОДЕЛІ ПУАССОНА (с. 30–37)

Asmaa Mohammed Nasir

У даній роботі було досліджено та проаналізовано вплив на прогнозування часових рядів фінансової системи центральної бібліотеки. Для аналізу прогнозування часових рядів бібліотеки, а також для дослідження щомісячного доходу було використано чотири моделі. Дані моделі включають модель сезонної індексації (SIM) та модель прогнозування ARIMA (PARIMA). Крім того, для всіх запропонованих моделей була застосована логарифмічна лінійна модель Пуассона. Результати, засновані на даних моделях, були перевірені на гетероскедастичність. Були використані шість місяців, з січня по червень. Згідно зі статистичним аналізом, в якості методу перевірки використовувався тест на гетероскедастичність. Результати показали, що три моделі пройшли перевірку та готові до використання на наступному етапі процедури. Для прогнозування часових рядів за використовуваний період (з січня по червень) застосовувалась певна ефективна модель. За даних індексації значення лага досягло максимального значення 0,98. У квітні кореляція досягла 0,344. Вказані значення сезонної індексації для обраного часу (шість місяців). Цифри змінювалися від місяця до місяця. Згідно з дослідженням, найвища ступінь індексації припала на квітень, найменша – на червень. Було вивчено лінійний логарифмічний розподіл Пуассона. У моделі SIM середньоквадратична похибка була зареєстрована в межах максимального рівня 0,3. Від початку до кінця року було задокументовано шість місяців (від X1 до X6). Березень місяць був найдевіантнішим. У січні залишкова Dif досягла найбільшого значення 0,092.

Ключові слова: фінансова система, прогнозування часових рядів, PFO, логарифмічна модель Пуассона, математична модель.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.254261

РОЗРОБКА ПАРАЛЕЛЬНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РІВНЯННЯ НАВ'Є-СТОКСА У ДВОЗВ'ЯЗНИХ ОБЛАСТЯХ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ФІКТИВНИХ ОБЛАСТЕЙ (с. 38–46)

Almas Temirbekov, Arshyn Altybay, Laura Temirbekova, Syrym Kasenov

У даній роботі представлена чисельна реалізація рівнянь Нав'є-Стокса в нерегулярних областях з використанням методу фіктивних областей з продовженням за найменшим коефіцієнтом. Метод фіктивних областей широко використовується для вирішення численних пов'язаних задач у нерегулярних областях. Перевага методу фіктивних областей полягає у тому, що задача вирішується не в вихідній складній області, а в декількох інших, простіших областях. За допомогою даного методу легко виконуються обчислення для досить широкого класу задач з довільними розрахунковими областями.

Задача вирішується двома способами. Основний метод заснований на розробці окремої задачі в змінних функції потоку та швидкості вихору з використанням умови унікальності тиску. Другий метод полягає у розумінні вираженої проблеми методом фіктивних областей з продовженням за нижчими коефіцієнтами.

За допомогою методу фіктивних областей побудований обчислювальний алгоритм на основі явних кінцево-різницевої схем. Кінцево-різницева схема стійка, має високу обчислювальну точність і дає можливість розпаралелювання. Розподіл температури та функції потоку представлені у вигляді чисельних результатів.

Розроблено паралельний алгоритм з використанням технологій відкритої багатопроцесорної обробки (далі OpenMP) та інтерфейсу передачі повідомлень (далі MPI). В рамках паралельного підходу було використано технологію OpenMP для паралельного розрахунку завихореності та роботи потоку, а для розрахунку температури було застосовано технологію MPI. Аналіз продуктивності нашого паралельного коду показує сприятливу сильну та слабку масштабованість. Результати випробувань показують, що код, який виконується при паралельному підході, дає очікувані результати, порівнюючи отримані результати з результатами, отриманими під час виконання того ж моделювання на центральному процесорі (ЦП).

Ключові слова: рівняння Нав'є-Стокса, функція потоку, завихореність, чисельні методи, паралельний алгоритм.