

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.240847
DEVISING A METHOD FOR CONSTRUCTING
THE OPTIMAL MODEL OF TIME SERIES
FORECASTING BASED ON THE PRINCIPLES OF
COMPETITION (p. 6–11)

Oksana Mulesa

State University «Uzhhorod National University»,
Uzhhorod, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6117-5846>

Igor Povkhan

State University «Uzhhorod National University»,
Uzhhorod, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1681-3466>

Tamara Radivilova

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5975-0269>

Oleksii Baranovskyi

Blekinge Institute of Technology, Blekinge, Sweden

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5629-5205>

This paper reports the analysis of a forecasting problem based on time series. It is noted that the forecasting stage itself is preceded by the stages of selection of forecasting methods, determining the criterion for the forecast quality, and setting the optimal prehistory step. As one of the criteria for a forecast quality, its volatility has been considered. Improving the volatility of the forecast could ensure a decrease in the absolute value of the deviation of forecast values from actual data. Such a criterion should be used in forecasting in medicine and other socially important sectors.

To implement the principle of competition between forecasting methods, it is proposed to categorize them based on the values of deviations in the forecast results from the exact values of the elements of the time series. The concept of dominance among forecasting methods has been introduced; rules for the selection of dominant and accurate enough predictive models have been defined. Applying the devised rules could make it possible, at the preceding stages of the analysis of the time series, to reject in advance the models that would surely fail from the list of predictive models available to use.

In accordance with the devised method, after applying those rules, a system of functions is built. The functions differ in the sets of predictive models whose forecasting results are taken into consideration. Variables in the functions are the weight coefficients with which predictive models are included. Optimal values for the variables, as well as the optimal model, are selected as a result of minimizing the functions built.

The devised method was experimentally verified. It has been shown that the constructed method made it possible to reduce the forecast error from 0.477 and 0.427 for basic models to 0.395 and to improve the volatility of the forecast from 1969.489 and 1974.002 to 1607.065

Keywords: time series, dominant forecast models, volatility, forecast accuracy, optimal model

References

- Wei, W. W. (2013). Time series analysis. The Oxford Handbook of Quantitative Methods in Psychology: Vol. 2. doi: <http://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199934898.013.0022>
- Khair, U., Fahmi, H., Al Hakim, S., Rahim, R. (2017). Forecasting error calculation with mean absolute deviation and mean absolute percentage error. *Journal of Physics: Conference Series*, 930 (1), 012002. doi: <http://doi.org/10.1088/1742-6596/930/1/012002>
- Geche, F., Batyuk, A., Mulesa, O., Voloshchuk, V. (2020). The Combined Time Series Forecasting Model. 2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), 272–275. doi: <http://doi.org/10.1109/dsmp47368.2020.9204311>
- Mulesa, O., Geche, F., Batyuk, A., Buchok, V. (2017). Development of combined information technology for time series prediction. *Conference on Computer Science and Information Technologies*. Cham: Springer, 361–373. doi: http://doi.org/10.1007/978-3-319-70581-1_26
- Adam, S. P., Alexandropoulos, S. A. N., Pardalos, P. M., Vrahatis, M. N. (2019). No free lunch theorem: A review. Approximation and optimization. Cham: Springer, 57–82. doi: http://doi.org/10.1007/978-3-030-12767-1_5
- Taylor, S. J., Letham, B. (2018). Forecasting at Scale. *The American Statistician*, 72 (1), 37–45. doi: <http://doi.org/10.1080/00031305.2017.1380080>
- Pole, A., West, M., Harrison, J. (2017). *Applied Bayesian forecasting and time series analysis*. New York: Chapman and Hall/CRC, 432. doi: <http://doi.org/10.1201/9781315274775>
- Dolgikh, S., Mulesa, O. (2021). Covid-19 epidemiological factor analysis: Identifying principal factors with machine. *CEUR Workshop Proceedings*, 2833, 114–123.
- Yan, W. (2012). Toward Automatic Time-Series Forecasting Using Neural Networks. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 23 (7), 1028–1039. doi: <http://doi.org/10.1109/tnnls.2012.2198074>
- Wan, R., Mei, S., Wang, J., Liu, M., Yang, F. (2019). Multivariate Temporal Convolutional Network: A Deep Neural Networks Approach for Multivariate Time Series Forecasting. *Electronics*, 8 (8), 876. doi: <http://doi.org/10.3390/electronics8080876>
- Sagheer, A., Kotb, M. (2019). Time series forecasting of petroleum production using deep LSTM recurrent networks. *Neurocomputing*, 323, 203–213. doi: <http://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.09.082>
- Cai, Q., Zhang, D., Zheng, W., Leung, S. C. H. (2015). A new fuzzy time series forecasting model combined with ant colony optimization and auto-regression. *Knowledge-Based Systems*, 74, 61–68. doi: <http://doi.org/10.1016/j.knsys.2014.11.003>
- Wang, L., Wang, Z., Qu, H., Liu, S. (2018). Optimal Forecast Combination Based on Neural Networks for Time Series Forecasting. *Applied Soft Computing*, 66, 1–17. doi: <http://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.02.004>
- Smyl, S. (2020). A hybrid method of exponential smoothing and recurrent neural networks for time series forecasting. *International Journal of Forecasting*, 36 (1), 75–85. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2019.03.017>
- Mulesa, O., Geche, F., Voloshchuk, V., Buchok, V., Batyuk, A. (2017). Information technology for time series forecasting with considering fuzzy expert evaluations. 2017 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), 1, 105–108. doi: <http://doi.org/10.1109/stc-csit.2017.8098747>
- Feng, Z., Niu, W. (2021). Hybrid artificial neural network and cooperation search algorithm for nonlinear river flow time series forecasting in humid and semi-humid regions. *Knowledge-Based Systems*, 211, 106580. doi: <http://doi.org/10.1016/j.knsys.2020.106580>
- Xu, W., Peng, H., Zeng, X., Zhou, F., Tian, X., Peng, X. (2019). A hybrid modelling method for time series forecasting based on a li-

- near regression model and deep learning. *Applied Intelligence*, 49 (8), 3002–3015. doi: <http://doi.org/10.1007/s10489-019-01426-3>
18. Kuchansky, A., Biloshchytskyi, A., Bronin, S., Biloshchytska, S., Andrashko, Y. (2019). Use of the Fractal Analysis of Non-stationary Time Series in Mobile Foreign Exchange Trading for M-Learning. *Interactive Mobile Communication, Technologies and Learning*. Cham: Springer, 950–961. doi: http://doi.org/10.1007/978-3-030-49932-7_88
 19. Kuchansky, A., Biloshchytskyi, A., Andrashko, Y., Biloshchytska, S., Shabala, Y., Myronov, O. (2018). Development of adaptive combined models for predicting time series based on similarity identification. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (4 (91)), 32–42. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121620>
 20. Andersen, T. G., Bollerslev, T., Christoffersen, P., Diebold, F. X. (2005). Volatility forecasting. doi: <http://doi.org/10.3386/w11188>
 21. Personal remittance, received – Ukraine. Available at: https://data.worldbank.org/indicator/BX.TRF.PWKR.CD.DT?end=2019&locations=UA&most_recent_year_desc=false&start=1996&view=chart

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.242442

APPLICATION OF THE NARX NEURAL NETWORK FOR PREDICTING A ONE-DIMENSIONAL TIME SERIES (p. 12–19)

Tansaula Serikov

S. Seifullin Kazakh Agro Technical University,
Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7026-7702>

Ainur Zhetpisbayeva

S. Seifullin Kazakh Agro Technical University,
Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4525-5299>

Sharafat Mirzakulova

Turan University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1400-4729>

Kairatbek Zhetpisbayev

LLP «NTS Design», Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8828-0075>

Zhanar Ibrayeva

International University of Information Technology,
Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3196-696X>

Aray Tolegenova

S. Seifullin Kazakh Agro Technical University,
Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6318-8328>

Lyudmila Soboleva

S. Seifullin Kazakh Agro Technical University,
Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0481-280X>

Berik Zhumazhanov

Nazarbayev University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5926-9619>

Time series data analysis and forecasting tool for studying the data on the use of network traffic is very important to provide acceptable and good quality network services, including network monitoring, resource management, and threat detection. More and more, the behavior of network traffic is described by the theory of deterministic chaos. The traffic of a modern network has a complex structure, an uneven rate of packet arrival for service by network devices. Predicting network traffic is still an important task, as

forecast data provide the necessary information to solve the problem of managing network flows. Numerous studies of actually measured data confirm that they are nonstationary and their structure is multicomponent. This paper presents modeling using Nonlinear Autoregression Exogenous (NARX) algorithm for predicting network traffic datasets. NARX is one of the models that can be used to demonstrate non-linear systems, especially in modeling time series datasets. In other words, they called the categories of dynamic feedback networks covering several layers of the network. An artificial neural network (ANN) was developed, trained and tested using the LM learning algorithm (Levenberg-Macwardt). The initial data for the prediction is the actual measured network traffic of the packet rate. As a result of the study of the initial data, the best value of the smallest mean-square error MSE (Mean Squared Error) was obtained with the epoch value equal to 18. As for the regression R, its output ANN values in relation to the target for training, validation and testing were 0.97743, 0.9638 and 0.94907, respectively, with an overall regression value of 0.97134, which ensures that all datasets match exactly. Experimental results (MSE, R) have proven the method's ability to accurately estimate and predict network traffic.

Keywords: one-dimensional time series, NARX model, forecasting, neural network, nonlinear autoregression.

References

1. Oliveira, T. P., Barbar, J. S., Soares, A. S. (2016). Computer network traffic prediction: a comparison between traditional and deep learning neural networks. *International Journal of Big Data Intelligence*, 3 (1), 28. doi: <https://doi.org/10.1504/ijbdi.2016.073903>
2. Romirer-Maierhofer, P., Schiavone, M., D'Alconzo, A. (2015). Device-Specific Traffic Characterization for Root Cause Analysis in Cellular Networks. *Lecture Notes in Computer Science*, 64–78. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-17172-2_5
3. Joshi, M., Hadi, T. H. (2015). A Review of Network Traffic Analysis and Prediction Techniques. *arXiv.org*. Available at: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1507/1507.05722.pdf>
4. Ramakrishnan, N., Soni, T. (2018). Network Traffic Prediction Using Recurrent Neural Networks. 2018 17th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA). doi: <https://doi.org/10.1109/icmla.2018.00035>
5. Cirstea, R.-G., Micu, D.-V., Muresan, G.-M., Guo, C., Yang, B. (2018). Correlated Time Series Forecasting using Multi-Task Deep Neural Networks. *Proceedings of the 27th ACM International Conference on Information and Knowledge Management*. doi: <https://doi.org/10.1145/3269206.3269310>
6. Tian, C., Ma, J., Zhang, C., Zhan, P. (2018). A Deep Neural Network Model for Short-Term Load Forecast Based on Long Short-Term Memory Network and Convolutional Neural Network. *Energies*, 11 (12), 3493. doi: <https://doi.org/10.3390/en1123493>
7. Weerakody, P. B., Wong, K. W., Wang, G., Ela, W. (2021). A review of irregular time series data handling with gated recurrent neural networks. *Neurocomputing*, 441, 161–178. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2021.02.046>
8. Khedkar, S. P., Canessane, R. A., Najafi, M. L. (2021). Prediction of Traffic Generated by IoT Devices Using Statistical Learning Time Series Algorithms. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2021, 1–12. doi: <https://doi.org/10.1155/2021/5366222>
9. Liu, Z., Wang, Z., Yin, X., Shi, X., Guo, Y., Tian, Y. (2019). Traffic Matrix Prediction Based on Deep Learning for Dynamic Traffic Engineering. 2019 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC). doi: <https://doi.org/10.1109/iscc47284.2019.8969631>
10. Adeleke, O. A. (2019). Echo-State Networks for Network Traffic Prediction. 2019 IEEE 10th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON). doi: <https://doi.org/10.1109/iemcon.2019.8936255>

11. Ruiz, L., Cuéllar, M., Calvo-Flores, M., Jiménez, M. (2016). An Application of Non-Linear Autoregressive Neural Networks to Predict Energy Consumption in Public Buildings. *Energies*, 9 (9), 684. doi: <https://doi.org/10.3390/en9090684>
12. Abdellah, A. R., Mahmood, O. A. K., Paramonov, A., Koucheryav, A. (2019). IoT traffic prediction using multi-step ahead prediction with neural network. 2019 11th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT). doi: <https://doi.org/10.1109/icumt48472.2019.8970675>
13. Andalib, A., Atry, F. (2009). Multi-step ahead forecasts for electricity prices using NARX: A new approach, a critical analysis of one-step ahead forecasts. *Energy Conversion and Management*, 50 (3), 739–747. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.09.040>
14. Li, X., Yang, C. (2014). Research and Application of Data Mining and NARX Neural Networks in Load Forecasting. *International Journal of Database Theory and Application*, 7 (2), 13–24. doi: <https://doi.org/10.14257/ijdt.2014.7.2.02>
15. Chandra, R. (2015). Competition and Collaboration in Cooperative Coevolution of Elman Recurrent Neural Networks for Time-Series Prediction. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 26 (12), 3123–3136. doi: <https://doi.org/10.1109/tnnls.2015.2404823>
16. Haviluddin, Alfred, R. (2015). Performance of modeling time series using nonlinear autoregressive with exogenous input (NARX) in the network traffic forecasting. 2015 International Conference on Science in Information Technology (ICSITech). doi: <https://doi.org/10.1109/icsitech.2015.7407797>
17. Boussaada, Z., Curea, O., Remaci, A., Camblong, H., Mrabet Bellaaj, N. (2018). A Nonlinear Autoregressive Exogenous (NARX) Neural Network Model for the Prediction of the Daily Direct Solar Radiation. *Energies*, 11 (3), 620. doi: <https://doi.org/10.3390/en11030620>
18. Serikov, T., Zhetpisybayeva, A., Akhmediyarova, A., Mirzakulova, S., Kismanova, A., Tolegenova, A., Wójcik, W. (2021). City Backbone Network Traffic Forecasting. *International Journal of Electronics and Telecommunications*, 67 (3), 319–324. doi: <https://doi.org/10.24425/ijet.2021.135983>
19. McCulloch, W. S., Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5 (4), 115–133. doi: <https://doi.org/10.1007/bf02478259>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.240163
DEVELOPING INTERACTIVE INTERACTION OF DUAL BUFFERING SYSTEMS AND CONVERSION CLASS SYSTEMS WITH CONTINUOUS SUPPLY OF TECHNOLOGICAL PRODUCTS (p. 20–25)

Igor Lutsenko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University,
Kremenchuk, Ukraine

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

Svitlana Koval

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University,
Kremenchuk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5178-1332>

Valerii Tytiuk

Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1077-3288>

Many modern industrial production facilities consist of sequentially operating systems with a continuous supply of technological product. The task of stabilizing the qualitative and quantitative parameters of output products at all stages of such production is a very difficult task and often leads to additional time and money costs. Therefore, improving the efficiency of these processes is a relevant issue.

A review of analogous solutions to this type of problem revealed the variability of their authors' approaches. However, all of them are aimed at optimizing existing control trajectories, rather than creating a new, more accurate trajectory.

Earlier, as part of the description of the basic principles of structural and parametric optimization of the management of production processes of this type, only the improved work of technological subsystems was reported.

This paper describes the principles of control over the proposed dual buffering system and its interactive interaction with other technological subsystems.

The introduction of buffering systems makes sequential technological subsystems more independent of each other. That makes it possible to increase the degree of freedom for each control subsystem and thereby improve the efficiency of finding the optimal mode of operation of the entire cybernetic system.

A conceptual model of the dual buffering system was built, the stabilization of the quantitative parameter at the output of the buffering system was substantiated through the development of an adaptation mechanism, and simulation modeling of the synthesized system was carried out.

The study shows that the use of buffering systems could improve the quality of energy utilization and reduce the wear of technological mechanisms by 14 % in general.

Keywords: dual buffering system, interactive interaction, adaptive control system, reserve levels.

References

1. Lee, T., Adams, G. E., Gaines, W. M. (1968). *Computer process control: modeling and optimization*. Wiley, 386.
2. Anderson, B. D., Bitmead, R. R., Johnson, C. R. et. al. (1987). *Stability of adaptive systems: passivity and averaging analysis*. MIT Press, 300.
3. Lutsenko, I. A., Shevchenko, I. V., Oksanich, I. G. (2017). *Osnovy effektivnogo upravleniya*. Kremenchug: ChP Scherbatykh A.V., 220.
4. Leonzio, G. (2017). Optimization through Response Surface Methodology of a Reactor Producing Methanol by the Hydrogenation of Carbon Dioxide. *Processes*, 5 (4), 62. doi: <https://doi.org/10.3390/pr5040062>
5. Sahlodin, A., Barton, P. (2017). Efficient Control Discretization Based on Turnpike Theory for Dynamic Optimization. *Processes*, 5 (4), 85. doi: <https://doi.org/10.3390/pr5040085>
6. *Continuous-Time Dynamical Systems (2008)*. Optimal Control of Nonlinear Processes, 9–98. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-540-77647-5_2
7. Liu, J., Liu, C. (2015). Optimization of Mold Inverse Oscillation Control Parameters in Continuous Casting Process. *Materials and Manufacturing Processes*, 30 (4), 563–568. doi: <https://doi.org/10.1080/10426914.2015.1004696>
8. Wedyan, A., Whalley, J., Narayanan, A. (2017). Hydrological Cycle Algorithm for Continuous Optimization Problems. *Journal of Optimization*, 2017, 1–25. doi: <https://doi.org/10.1155/2017/3828420>
9. Saberi Nik, H., Effati, S., Motsa, S. S., Shirazian, M. (2013). Spectral homotopy analysis method and its convergence for solving a class of nonlinear optimal control problems. *Numerical Algorithms*, 65 (1), 171–194. doi: <https://doi.org/10.1007/s11075-013-9700-4>
10. Fazeli Hassan Abadi, M., Rezaei, H. (2015). A Hybrid Model Of Particle Swarm Optimization And Continuous Ant Colony Optimization For Multimodal Functions Optimization. *Journal of Mathematics and Computer Science*, 15 (02), 108–119. doi: <https://doi.org/10.22436/jmcs.015.02.02>
11. 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>

12. Lutsenko, I. (2014). Systems engineering of optimal control. Synthesis of the structure of the technological products conversion system (Part 1). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (2 (72)), 29–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.28724>
13. Lutsenko, I., Fomovskaya, E., Vikhrova, E., Serdiuk, O. (2016). Development of system operations models hierarchy on the aggregating sign of system mechanisms. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (81)), 39–46. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.71494>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.241232
ANALYSIS OF ONE CLASS OF OPTIMAL CONTROL PROBLEMS FOR DISTRIBUTED-PARAMETER SYSTEMS (p. 26–33)

Kamil Mantiyev

Azerbaijan State University of Economics, Baku, Azerbaijan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5842-6085>

Tarana Aliyeva

Azerbaijan State University of Economics, Baku, Azerbaijan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9954-8153>

Ulviyya Rzayeva

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

In the paper, the method of straight lines approximately solves one class of optimal control problems for systems, the behavior of which is described by a nonlinear equation of parabolic type and a set of ordinary differential equations. Control is carried out using distributed and lumped parameters. Distributed control is included in the partial differential equation, and lumped controls are contained both in the boundary conditions and in the right-hand side of the ordinary differential equation. The convergence of the solutions of the approximating boundary value problem to the solution of the original one is proved when the step of the grid of straight lines tends to zero, and on the basis of this fact, the convergence of the approximate solution of the approximating optimal problem with respect to the functional is established.

A constructive scheme for constructing an optimal control by a minimizing sequence of controls is proposed. The control of the process in the approximate solution of a class of optimization problems is carried out on the basis of the Pontryagin maximum principle using the method of straight lines. For the numerical solution of the problem, a gradient projection scheme with a special choice of step is used, this gives a converging sequence in the control space. The numerical solution of one variational problem of the mentioned type related to a one-dimensional heat conduction equation with boundary conditions of the second kind is presented. An inequality-type constraint is imposed on the control function entering the right-hand side of the ordinary differential equation. The numerical results obtained on the basis of the compiled computer program are presented in the form of tables and figures.

The described numerical method gives a sufficiently accurate solution in a short time and does not show a tendency to «dispersion». With an increase in the number of iterations, the value of the functional monotonically tends to zero.

Keywords: nonlinear boundary value problems, functional convergence, Pontryagin's maximum principle, minimizing sequence.

References

1. Butkovsky, A. G. (1965). *Theory of optimal control of systems with distributed parameters*. Moscow: Science, 474.
2. Butkovsky, A. G., Egorov, A. I., Lurie, K. A. (1968). *Optimal Control of Distributed Systems (A Survey of Soviet Publications)*. SIAM Journal on Control, 6 (3), 437–476. doi: <https://doi.org/10.1137/0306029>
3. Egorov, A. I., Znamenskaya, L. N. (2005). Control of vibrations of coupled objects with distributed and lumped parameters. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*, 45 (10), 1701–1718. Available at: http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=zvmmf&paperid=578&option_lang=eng
4. Egorov, A. I., Znamenskaya, L. N. (2006). Controllability of vibrations of a system of objects with distributed and lumped parameters. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*, 46 (6), 955–970. doi: <https://doi.org/10.1134/s0965542506060054>
5. Egorov, A. I., Znamenskaya, L. N. (2009). Controllability of vibrations of a net of coupled objects with distributed and lumped parameters. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*, 49 (5), 786–796. doi: <https://doi.org/10.1134/s0965542509050054>
6. Panferov, V. I., Anisimova, E. Y. (2009). On optimal control over heating of buildings as a distributed-parameter process. *Bulletin of South Ural State University*, 3, 24–28. Available at: <https://dSPACE.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/0001.74/708/5.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
7. Teimurov, R. A. (2013). The problem of optimal control for moving sources for systems with distributed parameters. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Matematika i Mekhanika*, 1 (21), 24–33. Available at: http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=vtgu&paperid=290&option_lang=eng
8. Andreev, Yu. N., Orkin, V. M. (1969). Concerning approximate solution of problem of distributed system optimal control. *Automation and Remote Control*, 30 (5), 681–690. Available at: http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=at&paperid=10161&option_lang=eng
9. Kamil, M., Tarana, A., Ulviyya, R. (2020). Solution of One Problem on Optimum Gas Well Operation Control. *Economic computation and economic cybernetics studies and research*, 54 (4/2020), 249–264. doi: <https://doi.org/10.24818/18423264/54.4.20.16>
10. Sakawa, Y. (1964). Solution of an optimal control problem in a distributed-parameter system. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 9 (4), 420–426. doi: <https://doi.org/10.1109/tac.1964.1105753>
11. Leonchuk, M. P. (1964). Numerical solution of problems of optimal processes with distributed parameters. *USSR Computational Mathematics and Mathematical Physics*, 4 (6), 189–198. doi: [https://doi.org/10.1016/0041-5553\(64\)90091-6](https://doi.org/10.1016/0041-5553(64)90091-6)

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.240178
DEVELOPMENT OF A METHOD OF STRUCTURAL-PARAMETRIC ASSESSMENT OF THE OBJECT STATE (p. 34–44)

Qasim Abbood Mahdi

Al Taff University College, Karbala, Republic of Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6612-3511>

Ruslan Zhyvotovskiy

Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2717-0603>

Serhii Kravchenko

National Aviation University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8163-8027>

Ihor Borysov

Military Unit A1906, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2276-9913>

Oleksandr Orlov

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8995-7383>

Ihor Panchenko

Military Institute of Telecommunications and Information Technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5690-3813>

Yevhen Zhyvylo

Military Institute of Telecommunications and Information Technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4077-7853>

Artem Kupchyn

Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2013-691X>

Dmytro Koltovskov

Military Institute of Telecommunications and Information Technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2751-412X>

Serhii Boholii

Military Institute of Telecommunications and Information Technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8110-6322>

A method of structural and parametric assessment of the object state has been developed. The essence of the method is to provide an analysis of the current state of the object under analysis. The key difference of the developed method is the use of advanced procedures for processing undefined initial data, selection, crossover, mutation, formation of the initial population, advanced procedure for training artificial neural networks and rounding coordinates. The use of the method of structural-parametric assessment of the object state allows increasing the efficiency of object state assessment. An objective and complete analysis is achieved using an advanced algorithm of evolution strategies. The essence of the training procedure is the training of synaptic weights of the artificial neural network, the type and parameters of the membership function, the architecture of individual elements and the architecture of the artificial neural network as a whole. An example of using the proposed method in assessing the operational situation of the troops (forces) grouping is given. The developed method is 30–35 % more efficient in terms of the fitness of the obtained solution compared to the conventional algorithm of evolution strategies. Also, the proposed method is 20–25 % better than the modified algorithms of evolution strategies due to the use of additional improved procedures according to the criterion of fitness of the obtained solution. The proposed method can be used in decision support systems of automated control systems (artillery units, special-purpose geographic information systems). It can also be used in DSS for aviation and air defense ACS, DSS for logistics ACS of the Armed Forces of Ukraine.

Keywords: artificial neural networks, neural network training, modified algorithm of evolution strategies.

References

- Shyshatskyi, A. V., Bashkyrov, O. M., Kostyna, O. M. (2015). Development of integrated communication systems and data transfer for the needs of the Armed Forces. Weapons and military equipment, 1, 35–39.
- Dudnyk, V., Sinenko, Y., Matsyk, M., Demchenko, Y., Zhyvotovskiy, R., Repilo, I. et. al. (2020). Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (2 (105)), 37–47. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
- Kuchuk, N., Mohammed, A. S., Shyshatskyi, A., Nalapko, O. (2019). The method of improving the efficiency of routes selection in networks of connection with the possibility of self-organization. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, 8 (1.2), 1–6. Available at: <http://www.warse.org/IJATCSE/static/pdf/file/ijatcse01812s12019.pdf>
- Pievtsov, H., Turinskyi, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., Shyshatskyi, A. (2020). Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. EUREKA: Physics and Engineering, 4, 78–89. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>
- Zuiev, P., Zhyvotovskiy, R., Zvieriev, O., Hatsenko, S., Kuprii, V., Nakonechnyi, O. et. al. (2020). Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (9 (106)), 14–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>
- Shyshatskyi, A., Zvieriev, O., Salmnikova, O., Demchenko, Y., Trotsko, O., Neroznak, Y. (2020). Complex Methods of Processing Different Data in Intellectual Systems for Decision Support System. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, 9 (4), 5583–5590. doi: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/206942020>
- Sova, O., Shyshatskyi, A., Salmnikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., Hrokholskyi, Y. (2021). Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment. EUREKA: Physics and Engineering, 4, 30–40. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>
- Rodrigues, E., Gaspar, A. R., Gomes, Á. (2013). An evolutionary strategy enhanced with a local search technique for the space allocation problem in architecture, Part 2: Validation and performance tests. Computer-Aided Design, 45 (5), 898–910. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cad.2013.01.003>
- Guerrero-Peña, E., Araújo, A. F. R. (2021). Dynamic multi-objective evolutionary algorithm with objective space prediction strategy. Applied Soft Computing, 107, 107258. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107258>
- Pérez-González, C. J., Colebrook, M., Roda-García, J. L., Rosa-Remedios, C. B. (2019). Developing a data analytics platform to support decision making in emergency and security management. Expert Systems with Applications, 120, 167–184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023>
- Massel, L. V., Gerget, O. M., Massel, A. G., Mamedov, T. G. (2019). The Use of Machine Learning in Situational Management in Relation to the Tasks of the Power Industry. EPJ Web of Conferences, 217, 01010. doi: <https://doi.org/10.1051/epjconf/201921701010>
- Abaci, K., Yamacli, V. (2019). Hybrid Artificial Neural Network by Using Differential Search Algorithm for Solving Power Flow Problem. Advances in Electrical and Computer Engineering, 19 (4), 57–64. doi: <https://doi.org/10.4316/aeece.2019.04007>
- Osman, A. M. S. (2019). A novel big data analytics framework for smart cities. Future Generation Computer Systems, 91, 620–633. doi: <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.046>
- Mishchuk, O. S., Vitynskyi, P. B. (2018). Neural Network with Combined Approximation of the Surface of the Response. Research Bulletin of the National Technical University of Ukraine «Kyiv Politechnic Institute», 2, 18–24. doi: <https://doi.org/10.20535/1810-0546.2018.2.129022>
- Kazemi, M., Faezrad, M. (2018). Efficiency estimation using nonlinear influences of time lags in DEA Using Artificial Neural Networks. Industrial Management Journal, 10 (1), 17–34. doi: <https://doi.org/10.22059/imj.2018.129192.1006898>
- Prokoptsev, N. G., Alekseenko, A. E., Kholodov, Y. A. (2018). Traffic flow speed prediction on transportation graph with convolutional neural networks. Computer Research and Modeling, 10 (3), 359–367. doi: <https://doi.org/10.20537/2076-7633-2018-10-3-359-367>

17. Wu, M., Zhu, X., Ma, L., Wang, J., Bao, W., Li, W., Fan, Z. (2021). Torch: Strategy evolution in swarm robots using heterogeneous-homogeneous coevolution method. *Journal of Industrial Information Integration*, 100239. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100239>
18. Li, Z., Lin, X., Zhang, Q., Liu, H. (2020). Evolution strategies for continuous optimization: A survey of the state-of-the-art. *Swarm and Evolutionary Computation*, 56, 100694. doi: <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2020.100694>
19. Rybak, V. A., Shokr, A. (2016). Analysis and comparison of existing decision support technology. *System analysis and applied information science*, 3, 12–18.
20. Polozuiuk, K., Yaremenko, V. (2020). Neural networks and Monte-Carlo method usage in multi-agent systems for sudoku problem solving. *Technology Audit and Production Reserves*, 6 (2 (56)), 38–41. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.218427>
21. Akanova, A., Kaldarova, M. (2020). Impact of the compilation method on determining the accuracy of the error loss in neural network learning. *Technology Audit and Production Reserves*, 6 (2 (56)), 34–37. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.217613>
22. Leoshchenko, S., Oliinyk, A., Subbotin, S., Zaiko, T. (2020). Usage of swarm intelligence strategies during projection of parallel neuroevolution methods for neuromodel synthesis. *Technology Audit and Production Reserves*, 5 (2 (55)), 12–17. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.214769>
23. Yaremenko, V., Syrotiuk, O. (2020). Development of a multi-agent system for solving domain dictionary construction problem. *Technology Audit and Production Reserves*, 4 (2 (54)), 27–30. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.208400>
24. Lakhno, V., Sagun, A., Khaidurov, V., Panasko, E. (2020). Development of an intelligent subsystem for operating system incidents forecasting. *Technology Audit and Production Reserves*, 2 (2 (52)), 35–39. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.202498>
25. Hou, N., He, F., Zhou, Y., Chen, Y., Yan, X. (2018). A Parallel Genetic Algorithm With Dispersion Correction for HW/SW Partitioning on Multi-Core CPU and Many-Core GPU. *IEEE Access*, 6, 883–898. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2017.2776295>
26. Nobile, M. S., Cazzaniga, P., Besozzi, D., Colombo, R., Mauri, G., Pasi, G. (2018). Fuzzy Self-Tuning PSO: A settings-free algorithm for global optimization. *Swarm and Evolutionary Computation*, 39, 70–85. doi: <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2017.09.001>
27. Nugroho, E. D., Wibowo, M. E., Pulungan, R. (2017). Parallel implementation of genetic algorithm for searching optimal parameters of artificial neural networks. *2017 3rd International Conference on Science and Technology – Computer (ICST)*. doi: <https://doi.org/10.1109/icstc.2017.8011867>
28. Bergel, A. (2020). Neuroevolution. *Agile Artificial Intelligence in Pharo*, 283–294. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5384-7_14
29. Lovska, A. (2015). Peculiarities of computer modeling of strength of body bearing construction of gondola car during transportation by ferry-bridge. *Metallurgical and Mining Industry*, 1, 49–54. Available at: https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2015_1/10%20Lovska.pdf
30. Lovska, A., Fomin, O. (2020). A new fastener to ensure the reliability of a passenger car body on a train ferry. *Acta Polytechnica*, 60 (6), 478–485. doi: <https://doi.org/10.14311/ap.2020.60.0478>
31. Koshlan, A., Salnikova, O., Chekhovska, M., Zhyvotovskiy, R., Prokopenko, Y., Hurskyi, T. et. al. (2019). Development of an algorithm for complex processing of geospatial data in the special-purpose geoinformation system in conditions of diversity and uncertainty of data. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (101)), 35–45. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.180197>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239124
DEVELOPMENT OF A HYPERPARAMETER OPTIMIZATION METHOD FOR RECOMMENDER MODELS BASED ON MATRIX FACTORIZATION (p. 45–54)

Alexander Nechaev

Vyatka State University, Kirov, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0464-9961>

Vasily Meltsov

Vyatka State University, Kirov, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5479-9979>

Dmitry Strabykin

Vyatka State University, Kirov, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2787-3525>

Many advanced recommender models are implemented using matrix factorization algorithms. Experiments show that the quality of their performance depends significantly on the selected hyperparameters. Analysis of the effectiveness of using various methods for solving this problem of optimizing hyperparameters was made. It has shown that the use of classical Bayesian optimization which treats the model as a «black box» remains the standard solution. However, the models based on matrix factorization have a number of characteristic features. Their use makes it possible to introduce changes in the optimization process leading to a decrease in the time required to find the sought points without losing quality.

Modification of the Gaussian process core which is used as a surrogate model for the loss function when performing the Bayesian optimization was proposed. The described modification at first iterations increases the variance of the values predicted by the Gaussian process over a given region of the hyperparameter space. In some cases, this makes it possible to obtain more information about the real form of the investigated loss function in less time.

Experiments were carried out using well-known data sets for recommender systems. Total optimization time when applying the modification was reduced by 16 % (or 263 seconds) at best and remained the same at worst (less than 1-second difference). In this case, the expected error of the recommender model did not change (the absolute difference in values is two orders of magnitude lower than the value of error reduction in the optimization process). Thus, the use of the proposed modification contributes to finding a better set of hyperparameters in less time without loss of quality.

Keywords: Bayesian optimization, Gaussian process, covariance function, matrix factorization, recommender systems.

References

1. Ricci, F., Rokach, L., Shapira, B., Kantor, P. B. (Eds.) (2011). *Recommender Systems Handbook*. Springer, 842. doi: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-85820-3>
2. Rendle, S., Zhang, L., Koren, Y. (2019). On the Difficulty of Evaluating Baselines: A Study on Recommender Systems. *arXiv.org*. Available at: <https://arxiv.org/abs/1905.01395>
3. Dacrema, M. F., Cremonesi, P., Jannach, D. (2019). Are we really making much progress? A worrying analysis of recent neural recommendation approaches. *Proceedings of the 13th ACM Conference on Recommender Systems*. doi: <https://doi.org/10.1145/3298689.3347058>
4. Aggarwal, C. C. (2016). *Recommender Systems*. Springer, 498. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29659-3>
5. Fathan, G., Bharata Adji, T., Ferdiana, R. (2018). Impact of Matrix Factorization and Regularization Hyperparameter on a Recommender System for Movies. *Proceeding of the Electrical Engineering Computer Science and Informatics*, 5 (5), 113–116. doi: <https://doi.org/10.11591/eecs.v5i5.1685>

6. Harper, F. M., Konstan, J. A. (2016). The MovieLens Datasets. *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems*, 5 (4), 1–19. doi: <https://doi.org/10.1145/2827872>
7. Galuzzi, B. G., Giordani, I., Candelieri, A., Perego, R., Archetti, F. (2020). Hyperparameter optimization for recommender systems through Bayesian optimization. *Computational Management Science*, 17 (4), 495–515. doi: <https://doi.org/10.1007/s10287-020-00376-3>
8. Nechaev, A. A., Meltsov, V. Yu. (2021). Investigating the hyperparameter configuration space of matrix factorization recommendation models. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Povolzh'ya*, 5, 96–100. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46124660>
9. Tran, T., Lee, K., Liao, Y., Lee, D. (2018). Regularizing Matrix Factorization with User and Item Embeddings for Recommendation. *Proceedings of the 27th ACM International Conference on Information and Knowledge Management*. doi: <https://doi.org/10.1145/3269206.3271730>
10. Feurer, M., Hutter, F. (2019). *Hyperparameter Optimization. The Springer Series on Challenges in Machine Learning*, 3–33. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-05318-5_1
11. Snoek, J., Larochelle, H., Adams, R. P. (2012). Practical Bayesian Optimization of Machine Learning Algorithms. *arXiv.org*. Available at: <https://arxiv.org/abs/1206.2944>
12. McLeod, M., Osborne, M. A., Roberts, S. J. (2018). Practical Bayesian Optimization for Variable Cost Objectives. *arXiv.org*. Available at: <https://arxiv.org/abs/1703.04335>
13. Chen, Y., Chen, B., He, X., Gao, C., Li, Y., Lou, J.-G., Wang, Y. (2019). λ Opt. *Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining*. doi: <https://doi.org/10.1145/3292500.3330880>
14. Xian, Z., Li, Q., Li, G., Li, L. (2017). New Collaborative Filtering Algorithms Based on SVD++ and Differential Privacy. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017, 1–14. doi: <https://doi.org/10.1155/2017/1975719>
15. Shi, W., Wang, L., Qin, J. (2020). User Embedding for Rating Prediction in SVD++-Based Collaborative Filtering. *Symmetry*, 12 (1), 121. doi: <https://doi.org/10.3390/sym12010121>
16. Cline, A. K., Dhillon, I. S. (2006). Computation of the Singular Value Decomposition. *Handbook of Linear Algebra*, 45-1–45-13. doi: <https://doi.org/10.1201/9781420010572-45>
17. Nechaev, A. (2021). Speeding up Bayesian Optimization of Matrix Factorization Recommender Models Hyperparameters. *GitHub*. Available at: <https://github.com/dapqa/speeding-up-bo-for-cf-public>
18. Zhao, E. (2018). Optimized-for-speed Eigen implementations of SVD, SVD++ and TimeSVD++ algorithms. Available at: <https://github.com/dapqa/svdistic>
19. Nogueira, F. (2014). Bayesian Optimization: Open source constrained global optimization tool for Python. Available at: <https://github.com/fmfn/BayesianOptimization>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.241858
IMPLEMENTATION OF THE SOLUTION TO
THE OIL DISPLACEMENT PROBLEM USING
MACHINE LEARNING CLASSIFIERS AND NEURAL
NETWORKS (p. 55–63)

Beimbet Daribayev

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1313-9004>

Aksultan Mukhanbet

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4699-0436>

Yedil Nurakhov

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0799-7555>

Timur Imankulov

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8865-3676>

The problem of oil displacement was solved using neural networks and machine learning classifiers. The Buckley-Leverett model is selected, which describes the process of oil displacement by water. It consists of the equation of continuity of oil, water phases and Darcy's law. The challenge is to optimize the oil displacement problem. Optimization will be performed at three levels: vectorization of calculations; implementation of classical algorithms; implementation of the algorithm using neural networks. A feature of the method proposed in the work is the identification of the method with high accuracy and the smallest errors, comparing the results of machine learning classifiers and types of neural networks. The research paper is also one of the first papers in which a comparison was made with machine learning classifiers and neural and recurrent neural networks. The classification was carried out according to three classification algorithms, such as decision tree, support vector machine (SVM) and gradient boosting. As a result of the study, the Gradient Boosting classifier and the neural network showed high accuracy, respectively 99.99 % and 97.4 %. The recurrent neural network trained faster than the others. The SVM classifier has the lowest accuracy score. To achieve this goal, a dataset was created containing over 67,000 data for class 10. These data are important for the problems of oil displacement in porous media. The proposed methodology provides a simple and elegant way to instill oil knowledge into machine learning algorithms. This removes two of the most significant drawbacks of machine learning algorithms: the need for large datasets and the robustness of extrapolation. The presented principles can be generalized in countless ways in the future and should lead to a new class of algorithms for solving both forward and inverse oil problems.

Keywords: Buckley-Leverett model, neural network, machine learning, architecture, metric, training.

References

1. De Bézenac, E., Pajot, A., Gallinari, P. (2019). Deep learning for physical processes: incorporating prior scientific knowledge. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2019 (12), 124009. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-5468/ab3195>
2. Buckley, S. E., Leverett, M. C. (1942). Mechanism of Fluid Displacement in Sands. *Transactions of the AIME*, 146 (01), 107–116. doi: <https://doi.org/10.2118/942107-g>
3. Almajid, M. M., Abu-Al-Saud, M. O. (2022). Prediction of porous media fluid flow using physics informed neural networks. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 208, 109205. doi: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.109205>
4. Muradkhanli, L. (2018). Neural Networks for Prediction of Oil Production. *IFAC-PapersOnLine*, 51 (30), 415–417. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.339>
5. Al-Shabandar, R., Jaddoa, A., Liatsis, P., Hussain, A. J. (2021). A deep gated recurrent neural network for petroleum production forecasting. *Machine Learning with Applications*, 3, 100013. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2020.100013>
6. Vo Thanh, H., Sugai, Y., Sasaki, K. (2020). Application of artificial neural network for predicting the performance of CO₂ enhanced oil recovery and storage in residual oil zones. *Scientific Reports*, 10 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73931-2>
7. Hu, C., Wang, F., Ai, C., Wang, X., Wang, Y. (2021). An Improved New Convolutional Neural Network Method for Inverting the Pore Pressure in Oil Reservoir by Surface Vertical Deformation. *Lithosphere*, 2021. doi: <https://doi.org/10.2113/2021/5597238>
8. Nikraves, M., Kovscek, A. R., Murer, A. S., Patzek, T. W. (1996). Neural Networks for Field-Wise Waterflood Management in Low Per-

- meability, Fractured Oil Reservoirs. All Days. doi: <https://doi.org/10.2118/35721-ms>
9. Fraces, C. G., Papaioannou, A., Tchelepi, H. (2020). Physics informed deep learning for transport in porous media. Buckley Leverett problem. arXiv.org. Available at: <https://arxiv.org/pdf/2001.05172.pdf>
 10. Gasmı, C. F., Tchelepi, H. (2021). Physics informed deep learning for flow and transport in porous media. arXiv.org. Available at: <https://arxiv.org/pdf/2104.02629.pdf>
 11. Kovenya, V. M., Chirkov, D. V. (2013). Metody konechnyh raznostey i konechnyh obemov dlya resheniya zadach matematicheskoy fiziki. Novosibirsk: NGU, 16–27. Available at: <http://www.ict.nsc.ru/matmod/files/textbooks/KovenyaChirkov.pdf>
 12. Daribayev, B., Akhmed-Zaki, D., Imankulov, T., Nurakhov, Y., Kenzhebek, Y. (2020). Using Machine Learning Methods for Oil Recovery Prediction. ECMOR XVII. doi: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202035233>
 13. Charbuty, B., Abdulazeez, A. (2021). Classification Based on Decision Tree Algorithm for Machine Learning. Journal of Applied Science and Technology Trends, 2 (01), 20–28. doi: <https://doi.org/10.38094/jastt20165>
 14. Cervantes, J., Garcia-Lamont, F., Rodríguez-Mazahua, L., Lopez, A. (2020). A comprehensive survey on support vector machine classification: Applications, challenges and trends. Neurocomputing, 408, 189–215. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2019.10.118>
 15. Babajide Mustapha, I., Saeed, F. (2016). Bioactive Molecule Prediction Using Extreme Gradient Boosting. Molecules, 21 (8), 983. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules21080983>
 16. Cordoni, F. (2020). A comparison of modern deep neural network architectures for energy spot price forecasting. Digital Finance, 2 (3-4), 189–210. doi: <https://doi.org/10.1007/s42521-020-00022-2>
 17. Yacouby, R., Axman, D. (2020). Probabilistic Extension of Precision, Recall, and F1 Score for More Thorough Evaluation of Classification Models. Proceedings of the First Workshop on Evaluation and Comparison of NLP Systems. doi: <https://doi.org/10.18653/v1/2020.eval4nlp-1.9>
 18. Janssens, A. C. J. W., Martens, F. K. (2020). Reflection on modern methods: Revisiting the area under the ROC Curve. International Journal of Epidemiology, 49 (4), 1397–1403. doi: <https://doi.org/10.1093/ije/dy274>
 19. Gupta, N., Nigam, S. (2020). Crude Oil Price Prediction using Artificial Neural Network. Procedia Computer Science, 170, 642–647. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.136>
 20. Li, W., Kiaghadi, A., Dawson, C. (2020). Exploring the best sequence LSTM modeling architecture for flood prediction. Neural Computing and Applications, 33 (11), 5571–5580. doi: <https://doi.org/10.1007/s00521-020-05334-3>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.242304
DEVISING METHODS FOR PLANNING A
MULTIFACTORIAL MULTILEVEL EXPERIMENT
WITH HIGH DIMENSIONALITY (p. 64–72)

Lev Raskin

National Technical University
 «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9015-4016>

Oksana Sira

National Technical University
 «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4869-2371>

This paper considers the task of planning a multifactorial multilevel experiment for problems with high dimensionality. Planning an experiment is a combinatorial task. At the same time, the catastro-

phically rapid growth in the number of possible variants of experiment plans with an increase in the dimensionality of the problem excludes the possibility of solving it using accurate algorithms. On the other hand, approximate methods of finding the optimal plan have fundamental drawbacks. Of these, the main one is the lack of the capability to assess the proximity of the resulting solution to the optimal one. In these circumstances, searching for methods to obtain an accurate solution to the problem remains a relevant task.

Two different approaches to obtaining the optimal plan for a multifactorial multilevel experiment have been considered. The first of these is based on the idea of decomposition. In this case, the initial problem with high dimensionality is reduced to a sequence of problems of smaller dimensionality, solving each of which is possible by using precise algorithms. The decomposition procedure, which is usually implemented empirically, in the considered problem of planning the experiment is solved by employing a strictly formally justified technique. The exact solutions to the problems obtained during the decomposition are combined into the desired solution to the original problem. The second approach directly leads to an accurate solution to the task of planning a multifactorial multilevel experiment for an important special case where the costs of implementing the experiment plan are proportional to the total number of single-level transitions performed by all factors. At the same time, it has been proven that the proposed procedure for forming a route that implements the experiment plan minimizes the total number of one-level changes in the values of factors. Examples of problem solving are given.

Keywords: planning of multifactorial multilevel experiment, problem with high dimensionality, decomposition plan, exact plan.

References

1. Nalimov, V. V., Chernova, N. A. (1965). Statisticheskie metody planirovaniya ekstremal'nykh eksperimentov. Moscow: Nauka, 340.
2. Adleman, L. (1994). Molecular computation of solutions to combinatorial problems. Science, 266 (5187), 1021–1024. doi: <https://doi.org/10.1126/science.7973651>
3. Levitin, A. V. (2006). Algoritmy: vvedenie v razrabotku i analiz. Moscow: Vil'yams, 576.
4. Kureychik, V. M., Lebedev, B. K., Lebedev, O. K. (2006). Poiskovaya adaptaciya: teoriya i praktika. Moscow: Fizmatlit, 272.
5. Kormen, T., Leyzerson, Ch., Rivest, R., Shtayn, K. (2006). Algoritmy: postroyeniye i analiz. Moscow: Vil'yam, 1296.
6. Smith, K. (1918). On the standard deviations of adjusted and interpolated values of an observed polynomial function and its constants and the guidance they give towards a proper choice of the distribution of observations. Biometrika, 12 (1-2), 1–85. doi: <https://doi.org/10.1093/biomet/12.1-2.1>
7. How to Use «Design of Experiments» to Create Robust Designs With High Yield. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=hfdZabCVwzc>
8. Simmons, J. P., Nelson, L. D., Simonsohn, U. (2011). False-Positive Psychology: Undisclosed Flexibility in Data Collection and Analysis Allows Presenting Anything as Significant. Psychological Science, 22 (11), 1359–1366. doi: <https://doi.org/10.1177/0956797611417632>
9. Physics envy: Do 'hard' sciences hold the solution to the replication crisis in psychology? Available at: <https://www.theguardian.com/science/head-quarters/2014/jun/10/physics-envy-do-hard-sciences-hold-the-solution-to-the-replication-crisis-in-psychology>
10. Montgomery, D. C. (2012). Design and analysis of experiments. Wiley, 752.
11. Blum, C. (2005). Ant colony optimization: Introduction and recent trends. Physics of Life Reviews, 2 (4), 353–373. doi: <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2005.10.001>

12. Saymon, D. (2020). *Algoritmy evolyucionnoy optimizacii*. Moscow: LVR Press, 940.
13. Durbin, R., Willshaw, D. (1987). An analogue approach to the travelling salesman problem using an elastic net method. *Nature*, 326 (6114), 689–691. doi: <https://doi.org/10.1038/326689a0>
14. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8 (3), 338–353. doi: [https://doi.org/10.1016/s0019-9958\(65\)90241-x](https://doi.org/10.1016/s0019-9958(65)90241-x)
15. Pawlak, Z. (1997). Rough set approach to knowledge-based decision support. *European Journal of Operational Research*, 99 (1), 48–57. doi: [https://doi.org/10.1016/s0377-2217\(96\)00382-7](https://doi.org/10.1016/s0377-2217(96)00382-7)
16. Raskin, L., Sira, O. (2016). Fuzzy models of rough mathematics. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (84)), 53–60. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.86739>
17. Raskin, L., Sira, O. (2016). Method of solving fuzzy problems of mathematical programming. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (4 (83)), 23–28. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.81292>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.241916

**A NOVEL APPROACH FOR SOLVING DECISION-
MAKING PROBLEMS WITH STOCHASTIC LINEAR-
FRACTIONAL MODELS (p. 73–78)**

Watheq Laith

University of Sumer, Thi-Qar, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0833-1798>

Rasheed Al-Salih

Missouri University of Science and Technology,

Rolla, Missouri, USA

University of Sumer, Al-Rifa'i, Thi-Qar, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6349-4154>

Ali Habeeb

University of Sumer, Al-Rifa'i, Thi-Qar, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0037-8292>

Stochastic chance-constrained optimization has a wide range of real-world applications. In some real-world applications, the decision-maker has to formulate the problem as a fractional model where some or all of the coefficients are random variables with joint probability distribution. Therefore, these types of problems can deal with bi-objective problems and reflect system efficiency. In this paper, we present a novel approach to formulate and solve stochastic chance-constrained linear fractional programming models. This approach is an extension of the deterministic fractional model. The proposed approach, for solving these types of stochastic decision-making problems with the fractional objective function, is constructed using the following two-step procedure. In the first stage, we transform the stochastic linear fractional model into two stochastic linear models using the goal programming approach, where the first goal represents the numerator and the second goal represents the denominator for the stochastic fractional model. The resulting stochastic goal programming problem is formulated. The second stage implies solving stochastic goal programming problem, by replacing the stochastic parameters of the model with their expectations. The resulting deterministic goal programming problem is built and solved using Win QSB solver. Then, using the optimal value for the first and second goals, the optimal solution for the fractional model is obtained. An example is presented to illustrate our approach, where we assume the stochastic parameters have a uniform distribution. Hence, the proposed approach for solving the stochastic linear fractional model is efficient and easy to implement. The advantage of the proposed approach is the ability to use it for formulating and solving any decision-making problems with the stochastic linear fractional model based on transforming the stochastic linear model to a deterministic

linear model, by replacing the stochastic parameters with their corresponding expectations and transforming the deterministic linear fractional model to a deterministic linear model using the goal programming approach.

Keywords: Stochastic Models, Fractional Programming Problems, Goal Programming, Joint Probability Distribution.

References

1. Al-Salih, R., Bohner, M. (2018). Linear programming problems on time scales. *Applicable Analysis and Discrete Mathematics*, 12 (1), 192–204. doi: <https://doi.org/10.2298/aadm170426003a>
2. Al-Salih, R., Bohner, M. J. (2019). Separated and state-constrained separated linear programming problems on time scales. *Boletim Da Sociedade Paranaense de Matemática*, 38 (4), 181–195. doi: <https://doi.org/10.5269/bspm.v38i4.40414>
3. Al-Salih, R., Bohner, M. (2019). Linear fractional programming problems on time scales. *Journal of Numerical Mathematics and Stochastics*, 11 (1), 1–18. Available at: <https://web.mst.edu/~bohner/papers/lfpots.pdf>
4. Hamed, Q. A., Al-Salih, R., Laith, W. (2020). The Analogue of Regional Economic Models in Quantum Calculus. *Journal of Physics: Conference Series*, 1530, 012075. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1530/1/012075>
5. Al-Salih, R., Habeeb, A., Laith, W. (2019). A Quantum Calculus Analogue of Dynamic Leontief Production Model with Linear Objective Function. *Journal of Physics: Conference Series*, 1234, 012102. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1234/1/012102>
6. Charnes, A., Cooper, W. W. (1959). Chance-Constrained Programming. *Management Science*, 6 (1), 73–79. doi: <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.1.73>
7. Gupta, S. N., Jain, A. K., Swarup, K. (1987). Stochastic linear fractional programming with the ratio of independent Cauchy variates. *Naval Research Logistics*, 34 (2), 293–305. doi: [https://doi.org/10.1002/1520-6750\(198704\)34:2<293::aid-nav3220340212>3.0.co;2-0](https://doi.org/10.1002/1520-6750(198704)34:2<293::aid-nav3220340212>3.0.co;2-0)
8. Iwamura, K., Liu, B. (1996). A genetic algorithm for chance constrained programming. *Journal of Information and Optimization Sciences*, 17 (2), 409–422. doi: <https://doi.org/10.1080/02522667.1996.10699291>
9. Charles, V., Dutta, D. (2005). Linear Stochastic Fractional Programming with Sum-of-Probabilistic-Fractional Objective. *Optimization Online*. Available at: http://www.optimization-online.org/DB_FILE/2005/06/1142.pdf
10. Charles, V., Dutta, D. (2006). Extremization of multi-objective stochastic fractional programming problem. *Annals of Operations Research*, 143 (1), 297–304. doi: <https://doi.org/10.1007/s10479-006-7389-7>
11. Zhu, H., Huang, G. H. (2011). SLFP: A stochastic linear fractional programming approach for sustainable waste management. *Waste Management*, 31 (12), 2612–2619. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.08.009>
12. Charles, V., Yadavalli, V. S. S., Rao, M. C. L., Reddy, P. R. S. (2011). Stochastic Fractional Programming Approach to a Mean and Variance Model of a Transportation Problem. *Mathematical Problems in Engineering*, 2011, 1–12. doi: <https://doi.org/10.1155/2011/657608>
13. Charles, V., Gupta, P. (2013). Optimization of chance constraint programming with sum-of-fractional objectives – An application to assembled printed circuit board problem. *Applied Mathematical Modelling*, 37 (5), 3564–3574. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.07.043>
14. Ding, X., Wang, C. (2012). A Novel Algorithm of Stochastic Chance-Constrained Linear Programming and Its Application. *Mathematical Problems in Engineering*, 2012, 1–17. doi: <https://doi.org/10.1155/2012/139271>
15. Mohamed, A. W. (2017). Solving stochastic programming problems using new approach to Differential Evolution algorithm. *Egyptian*

- Informatics Journal, 18 (2), 75–86. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eij.2016.09.002>
16. Zhang, C., Engel, B. A., Guo, P., Liu, X., Guo, S., Zhang, F., Wang, Y. (2018). Double-sided stochastic chance-constrained linear fractional programming model for managing irrigation water under uncertainty. *Journal of Hydrology*, 564, 467–475. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.07.024>
17. Ismail, M., El-Hefnawy, A., Saad, A. E.-N. (2018). New Deterministic Solution to a chance constrained linear programming model with Weibull Random Coefficients. *Future Business Journal*, 4 (1), 109–120. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbj.2018.02.001>
18. Al Qahtani, H., El-Hefnawy, A., El-Ashram, M. M., Fayomi, A. (2019). A Goal Programming Approach to Multichoice Multiobjective Stochastic Transportation Problems with Extreme Value Distribution. *Advances in Operations Research*, 2019, 1–6. doi: <https://doi.org/10.1155/2019/9714137>
19. Nasser, S. H., Bavandi, S. (2018). Fuzzy Stochastic Linear Fractional Programming based on Fuzzy Mathematical Programming. *Fuzzy Information and Engineering*, 10 (3), 324–338. doi: <https://doi.org/10.1080/16168658.2019.1612605>
20. Acharya, S., Belay, B., Mishra, R. (2019). Multi-objective probabilistic fractional programming problem involving two parameters cauchy distribution. *Mathematical Modelling and Analysis*, 24 (3), 385–403. doi: <https://doi.org/10.3846/mma.2019.024>
21. Zhou, C., Huang, G., Chen, J. (2019). A Type-2 Fuzzy Chance-Constrained Fractional Integrated Modeling Method for Energy System Management of Uncertainties and Risks. *Energies*, 12 (13), 2472. doi: <https://doi.org/10.3390/en12132472>
22. Mehrjerdi, Y. Z. (2021). A new methodology for solving bi-criterion fractional stochastic programming. *Numerical Algebra, Control & Optimization*, 11 (4), 533. doi: <https://doi.org/10.3934/naco.2020054>
23. Younsi-Abbaci, L., Moulaï, M. (2021). Solving the multi-objective stochastic interval-valued linear fractional integer programming problem. *Asian-European Journal of Mathematics*, 2250022. doi: <https://doi.org/10.1142/s179355712250022x>
24. Barichard, V., Ehrgott, M., Gandibleux, X., T'Kindt, V. (Eds.) (2009). *Multiobjective Programming and Goal Programming. Theoretical Results and Practical Applications*. Springer, 298. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-85646-7>
25. Laguel, Y., Malick, J., Ackooij, W. (2021). Chance constrained problems: a bilevel convex optimization perspective. *arXiv.org*. Available at: <https://arxiv.org/pdf/2103.10832.pdf>
26. Charnes, A., Cooper, W. W. (1962). Programming with linear fractional functionals. *Naval Research Logistics Quarterly*, 9 (3-4), 181–186. doi: <https://doi.org/10.1002/nav.3800090303>
27. Ponnaiah, P., Mohan, J. (2013). On Solving Linear Fractional Programming Problems. *Modern Applied Science*, 7 (6). doi: <https://doi.org/10.5539/mas.v7n6p90>
28. Jaber, W. K., Hassan, I. H., Khraibet, T. J. (2021). Development of the complementary method to solve fractional linear programming problems. *Journal of Physics: Conference Series*, 1897 (1), 012053. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1897/1/012053>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.240847

РОЗРОБКА МЕТОДУ ПОБУДОВИ ОПТИМАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСОВИХ РЯДІВ НА ОСНОВІ ПРИНЦИПУ КОНКУРЕНЦІЇ (с. 6–11)

О. Ю. Мулеса, І. Ф. Повхан, Т. А. Радівілова, О. М. Барановський

Виконано аналіз проблеми прогнозування на основі часових рядів. Відзначено, що етапу власне прогнозування передують етапи відбору методів прогнозування, визначення критерію якості прогнозу та задання оптимального кроку передісторії. Як один з критеріїв якості прогнозу розглядається його волатильність. Покращення волатильності прогнозу дозволить забезпечити зменшення абсолютної величини відхилення прогнозних значень від реальних даних. Такий критерій доцільно використовувати при прогнозуванні в медицині та інших суспільно важливих галузях.

Для реалізації принципу конкуренції між методами прогнозування пропонується виконувати їх класифікацію, виходячи із величин відхилень результатів прогнозу від точних значень елементів часового ряду. Введено поняття домінування між методами прогнозування та визначено правила для відбору домінуючих і достатньо точних прогнозних моделей. Використання розроблених правил дозволить на попередніх етапах аналізу часового ряду з переліку доступних до використання прогнозних моделей відкинути заздалегідь програшні.

Відповідно до розробленого методу, після застосування зазначених правил, виконується побудова системи функцій. Функції відрізняються наборами прогнозних моделей, результати прогнозування яких беруться до уваги. Змінними у функціях є вагові коефіцієнти з якими прогнозні моделі включаються у них. Оптимальні значення змінних та оптимальна модель обираються в результаті мінімізації побудованих функцій.

Виконано експериментальна верифікація розробленого методу. Показано, що розроблений метод дозволив зменшити похибку прогнозування з 0,477 і 0,427 для базових моделей до 0,395 та покращити волатильність прогнозу з 1969,489 та 1974,002 до 1607,065.

Ключові слова: часовий ряд, домінуючі прогнозні моделі, волатильність, точність прогнозу, оптимальна модель.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.242442

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ NARX ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ОДНОВИМІРНОГО ЧАСОВОГО РЯДУ (с. 12–19)

Tansaule Serikov, Ainur Zhetpisbayeva, Sharafat Mirzakulova, Kairatbek Zhetpisbayev, Zhanar Ibrayeva, Aray Tolegenova, Lyudmila Soboleva, Berik Zhumazhanov

Для надання якісних мережевих послуг, включаючи моніторинг мережі, управління ресурсами та виявлення загроз необхідний інструмент аналізу та прогнозування даних часових рядів для вивчення даних про використання мережевого трафіку. Для опису поведінки мережевого трафіку все частіше використовується теорія детермінованого хаосу. Трафік сучасної мережі має складну структуру, нерівномірну швидкість надходження пакетів для обслуговування мережевими пристроями. Прогнозування мережевого трафіку як і раніше залишається важливим завданням, оскільки прогнозні дані надають необхідну інформацію для вирішення проблеми управління мережевими потоками. Численні дослідження фактично вимірних даних підтверджують їх нестационарність і багатокомпонентну структуру. У даній роботі для прогнозування наборів даних мережевого трафіку представлено моделювання з використанням алгоритму нелінійної авторегресії із зовнішнім входом (NARX). NARX є однією з моделей, які можна використовувати для демонстрації нелінійних систем, особливо при моделюванні наборів даних часових рядів. Іншими словами, категорія динамічних мереж зворотного зв'язку, що охоплюють кілька рівнів мережі. З використанням алгоритму навчання Левенберга-Марквардта була розроблена, навчена і протестована штучна нейронна мережа (ШНМ). Вихідними даними для прогнозування є фактична виміряна швидкість передачі пакетів в мережевому трафіку. В результаті вивчення вихідних даних було отримано найкраще значення найменшої середньоквадратичної похибки (MSE) зі значенням епохи, рівним 18. Що стосується регресії R, її вихідні значення ШНМ по відношенню до цільового показника навчання, перевірки і тестування склали 0,97743, 0,9638 і 0,94907 відповідно, при загальному значенні регресії 0,97134, що гарантує точну відповідність всіх наборів даних. Результати експериментів (MSE, R) довели здатність методу до точного оцінювання і прогнозування мережевого трафіку.

Ключові слова: одновимірний часовий ряд, модель NARX, прогнозування, нейронна мережа, нелінійна авторегресія.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.240163

РОЗРОБКА ІНТЕРАКТИВНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ДУАЛЬНИХ СИСТЕМ БУФЕРИЗАЦІЇ І СИСТЕМ ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОГО КЛАСУ З БЕЗПЕРЕРВНОЮ ПОДАЧЕЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОДУКТІВ (с. 20–25)

І. А. Луценко, С. С. Коваль, В. К. Титюк

Багато сучасних промислових виробництв складається з послідовно працюючих систем з безперервною подачею технологічного продукту. Завдання стабілізації якісного і кількісного параметрів вихідної продукції на всіх стадіях таких виробництв є досить складним завданням і часто веде за собою додаткові часові та грошові витрати. Тому підвищення ефективності даних процесів є актуальним завданням.

Огляд аналогів рішення задачі даного типу показав різно-варіантність підходів авторів. Але всі вони спрямовані на оптимізацію існуючих траєкторій управління, а не на створення нової, більш точної траєкторії.

Раніше, в рамках опису основних принципів структурно-параметричної оптимізації управління виробничих процесів даного типу, була представлена тільки вдосконалена робота технологічних підсистем.

У даній роботі описані принципи управління запропонованої дуальної системи буферизації і її інтерактивне взаємодія з іншими технологічними підсистемами.

Впровадження систем буферизації робить послідовні технологічні підсистеми більш незалежними один від одного. Це дозволяє збільшити ступінь свободи для кожної підсистеми управління і тим самим підвищити ефективність пошуку оптимального режиму роботи всієї кібернетичної системи.

Була створена концептуальна модель дуальної системи буферизації, обґрунтована стабілізація кількісного параметра на виході системи буферизації за рахунок розробки механізму адаптації і проведено імітаційне моделювання синтезованої системи.

Проведені дослідження показують, що використання систем буферизації дозволяє підвищити якість використання енергоресурсів і зменшити знос технологічних механізмів в цілому на 14 %.

Ключові слова: дуальна система буферизації, інтерактивна взаємодія, адаптивна система управління, рівні запасів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.241232

ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОГО КЛАСУ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ СИСТЕМАМИ З РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ (с. 26–33)

Kamil Mamtiyev, Tarana Aliyeva, Ulviyya Rzayeva

У роботі за допомогою методу прямих наближено вирішується один клас задач оптимального управління системами, поведінка яких описується нелінійним рівнянням параболічного типу та набором звичайних диференціальних рівнянь. Управління здійснюється з використанням розподілених і зосереджених параметрів. Розподілене управління включено в диференціальне рівняння в частинних похідних, в той час як зосереджені управління містяться як в граничних умовах, так і в правій частині звичайного диференціального рівняння. Доведено збіжність розв'язків наближеної крайової задачі до розв'язку вихідної при прагненні кроку сітки прямих до нуля, і на цій підставі встановлено збіжність наближеного розв'язку наближеної оптимальної задачі за функціоналом.

Запропоновано конструктивну схему побудови оптимального управління за мінімізуючою послідовністю управлінь. Управління процесом при наближеному розв'язанні класу задач оптимізації здійснюється на основі принципу максимуму Понтрягіна з використанням методу прямих. Для чисельного рішення задачі використовується схема проєкції градієнта зі спеціальним вибором кроку, що дає збіжну послідовність в просторі управління. Представлено чисельне рішення однієї варіаційної задачі зазначеного типу, пов'язаної з одновимірним рівнянням теплопровідності з граничними умовами другого роду. На функцію управління, що входить в праву частину звичайного диференціального рівняння, накладається обмеження у вигляді нерівності. Чисельні результати, отримані на основі складеної комп'ютерної програми, представлені у вигляді таблиць і малюнків.

Описаний чисельний метод дає досить точне рішення за короткий час і не проявляє тенденції до «розкиду». При збільшенні кількості ітерацій значення функціоналу монотонно прагне до нуля.

Ключові слова: нелінійні крайові задачі, функціональна збіжність, принцип максимуму Понтрягіна, мінімізуюча послідовність.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.240178

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОЇ ОЦІНКИ СТАНУ ОБ'ЄКТУ (с. 34–44)

Qasim Abbood Mahdi, P. M. Животовський, С. І. Кравченко, І. В. Борисов, О. В. Орлов, І. В. Панченко, Є. О. Живило, А. В. Купчин, Д. Г. Колтовсков, С. М. Боголій

Проведено розробку методики структурно-параметричної оцінки стану об'єкту. Сутність методики полягає в забезпеченні аналізу поточного стану об'єкту, що аналізується. Ключовою відмінністю розробленої методики, є використання удосконалених процедур оброблення невизначених вихідних даних, селекції, схрещування, мутації, формування початкової популяції, удосконаленої процедури навчання штучних нейронних мереж та округлення координат. Використання методики структурно-параметричної оцінки стану об'єкту дозволяє підвищити оперативність оцінки стану об'єкту. Об'єктивний та повний аналіз досягається використанням удосконаленого алгоритму еволюційних стратегій. Сутність процедури навчання полягає в тому, що відбувається навчання синаптичних ваг штучної нейронної мережі, типу та параметрів функції належності, а також архітектури окремих елементів і архітектури штучної нейронної мережі в цілому. Наведений приклад використання запропонованої методики на прикладі оцінки стану оперативної обстановки угруповання військ (сил). Розроблена методика має на 30–35 % більшу ефективність за критерієм придатності отриманого рішення в порівнянні з класичним алгоритмом еволюційних стратегій. Також запропонована методика є кращою на 20–25 % у порівнянні з модифікованими алгоритмами еволюційних стратегій за рахунок використання додаткових удосконалених процедур за критерієм придатності отриманого рішення. Пропонується використання запропонованої методики в системах підтримки прийняття рішень автоматизованих систем управління (артилерійськими підрозділами, геоінформаційних систем спеціального призначення). Також можливо використання СППР АСУ авіацією та протиповітряної оборони, СППР АСУ логістичного забезпечення Збройних Сил України.

Ключові слова: штучні нейронні мережі, навчання нейронних мереж, модифікований алгоритм еволюційних стратегій.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239124

РОЗРОБКА МЕТОДУ ОПТИМІЗАЦІЇ ГІПЕРПАРАМЕТРІВ ДЛЯ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВІ МАТРИЧНОЇ ФАКТОРИЗАЦІЇ (с. 45–54)

А. А. Нечаєв, В. Ю. Мельцов, Д. А. Страбикін

Багато передових рекомендаційних моделей реалізовані з використанням алгоритмів матричної факторизації. Експерименти показують, що якість їх роботи значно залежить від обраних гіперпараметрів. Було проведено аналіз ефективності використання різних методів вирішення даної задачі оптимізації гіперпараметрів. Він показав, що стандартним рішенням залишається використання класичної байєсівської оптимізації, що розглядає модель як «чорний ящик». Однак моделі на основі матричної факторизації мають ряд характерних особливостей. Їх використання дозволяє внести зміни в процес оптимізації, що призводить до зменшення часу, необхідного для виявлення потрібних точок, без втрати якості.

Запропоновано модифікацію ядра гауссівського процесу, який використовується в якості сурогатної моделі функції втрат при виконанні байєсівської оптимізації. Описана модифікація на перших ітераціях збільшує дисперсію величин, що передбачаються гауссівським процесом на заданій області простору гіперпараметрів. У ряді випадків це дозволяє за менший час отримати більше інформації про реальну форму досліджуваної функції втрат.

Були проведені експерименти з використанням загальновідомих наборів даних для рекомендаційних систем. Загальний час оптимізації при застосуванні модифікації в кращому випадку було знижено на 16 % (або на 263 секунди), в гіршому – залишилося таким же (різниця менше 1 секунди). Очікувана помилка рекомендаційної моделі при цьому не змінювалася (абсолютна різниця значень на два порядки нижче, ніж величина зниження помилки в процесі оптимізації). Таким чином, використання запропонованої модифікації сприяє виявленню кращого набору гіперпараметрів за менший час без втрати якості.

Ключові слова: байєсова оптимізація, гауссівський процес, коваріаційна функція, матрична факторизація, рекомендаційні системи.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.241858

РЕАЛІЗАЦІЯ РІШЕННЯ ЗАДАЧІ ВИТІСНЕННЯ НАФТИ З ВИКОРИСТАННЯМ КЛАСИФІКАТОРІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ І НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ (с. 55–63)

Beimbet Daribayev, Aksultan Mukhanbet, Yedil Nurakhov, Timur Imankulov

Задача витіснення нафти була вирішена за допомогою нейронних мереж і класифікаторів машинного навчання. Була обрана модель Баклея-Леверетта, що описує процес витіснення нафти водою. Вона складається з рівняння безперервності нафтової, водної фаз і закону Дарсі. Задача полягає в оптимізації проблеми витіснення нафти. Оптимізація здійснюватиметься на трьох рівнях: векторизація обчислень; реалізація класичних алгоритмів; реалізація алгоритму з використанням нейронних мереж. Особливістю запропонованого в роботі методу є визначення методу з високою точністю і найменшими похибками шляхом порівняння результатів класифікаторів машинного навчання і типів нейронних мереж. Дана дослідницька робота також є однією з перших робіт, в якій було проведено порівняння класифікаторів машинного навчання і нейронних і рекурентних нейронних мереж. Класифікація проводилася відповідно до трьох алгоритмів класифікації, таких як дерево рішень, метод опорних векторів (SVM) і градієнтний бустинг. В результаті дослідження класифікатор градієнтного бустингу і нейронна мережа показали високу точність, 99,99 % і 97,4 % відповідно. Рекурентна нейронна мережа навчалася швидше за інших. Класифікатор SVM має найнижчий показник точності. Для досягнення цієї мети був створений набір даних, що містить понад 67000 даних для класу 10. Ці дані важливі для вирішення задач витіснення нафти в пористих середовищах. Запропонований метод забезпечує простий і витончений спосіб впровадження знань про нафту в алгоритми машинного навчання. Таким чином, усуваються два найбільш істотних недоліки алгоритмів машинного навчання: необхідність у великих наборах даних і робастність екстраполяції. Представлені принципи можуть бути узагальнені незліченною кількістю способів у майбутньому і повинні призвести до створення нового класу алгоритмів для вирішення як прямих, так і зворотних задач.

Ключові слова: модель Баклея-Леверетта, нейронна мережа, машинне навчання, архітектура, показник, навчання.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.242304

РОЗРОБКА МЕТОДІВ ПЛАНУВАННЯ БАГАТОФАКТОРНОГО БАГАТОРІВНЕВОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ВИСОКОЇ РОЗМІРНОСТІ (с. 64–72)

Л. Г. Раскін, О. В. Сіра

Розглянуто проблему планування багатофакторного багаторівневого експерименту в задачах високої розмірності. Планування експерименту – комбінаторна задача. При цьому катастрофічно швидко зростання числа можливих варіантів планів експерименту зі збільшенням розмірності задачі виключає можливість її розв'язання з використанням точних. З іншого боку, наближені методи відшукування оптимального плану мають принципові недоліки. З них головне: відсутність можливості оцінки близькості одержуваного рішення до оптимального. За цих обставин залишається актуальним пошук методів отримання точного рішення задачі.

Розглянуті два різних підходи до отримання оптимального плану багатофакторного багаторівневого експерименту. Перший з них заснований на ідеї декомпозиції. При цьому вихідна проблемна задача високої розмірності зводиться до послідовності задач меншої розмірності, рішення кожної з яких можливо з використанням точних алгоритмів. Процедура декомпозиції, яка зазвичай реалізується емпірично, в розглянутій задачі планування експерименту вирішується із застосуванням строго формально обґрунтованої технології. Точні рішення отриманих при декомпозиції задач об'єднуються в шукане рішення вихідної задачі. Другий підхід безпосередньо призводить до точного розв'язання задачі планування багатофакторного багаторівневого експерименту для важливого окремого випадку, коли витрати на реалізацію плану експерименту пропорційні сумарному числу виконань однорівневих переходів за всіма чинниками. При цьому доведено, що запропонована процедура формування маршруту, що реалізує план експерименту, мінімізує загальне число однорівневих змін значень факторів. Розглянуто метод використання отриманого точного рішення задачі для формування набору альтернативних точних планів. Наведено приклади розв'язання задачі.

Ключові слова: планування багатофакторного багаторівневого експерименту, задача великої розмірності, декомпозиційний план, точний план.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.241916

НОВИЙ ПІДХІД ДО ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ СТОХАСТИЧНИХ ДРОБОВО-ЛІНІЙНИХ МОДЕЛЕЙ (с. 73–78)

Watheq Laith, Rasheed Al-Salih, Ali Habeeb

Стохастична оптимізація з імовірнісними обмеженнями має широкий спектр реальних задач. У деяких реальних задачах особі, яка приймає рішення, необхідно сформулювати проблему у вигляді дробової моделі, в якій деякі або всі коефіцієнти є випадковими величинами з спільним розподілом ймовірностей. Таким чином, ці типи задач дозволяють вирішувати двоїсті задачі та відображають

ефективність системи. У даній роботі ми представляємо новий підхід до формулювання і вирішення стохастичних моделей дробово-лінійного програмування з імовірнісними обмеженнями. Цей підхід є продовженням детермінованої дробової моделі. Запропонований підхід для вирішення цих типів стохастичних задач прийняття рішень за допомогою дробової цільової функції побудований за наступною двоетапною процедурою. На першому етапі з використанням методу цільового програмування ми перетворюємо стохастичну дробово-лінійну модель в дві стохастичні лінійні моделі, де перша ціль представляє чисельник, а друга представляє знаменник для стохастичної дробової моделі. Сформульована результуюча задача стохастичного цільового програмування. Другий етап передбачає вирішення задачі стохастичного цільового програмування шляхом заміни стохастичних параметрів моделі їхніми математичними очікуваннями. Результуюча задача детермінованого цільового програмування побудована і вирішена за допомогою вирішувача Win QSB. Потім, використовуючи оптимальне значення для першої та другої цілі, отримано оптимальне рішення для дробової моделі. Для ілюстрації нашого підходу представлений приклад, в якому ми припускаємо рівномірний розподіл стохастичних параметрів. Отже, запропонований підхід до вирішення стохастичної дробово-лінійної моделі є ефективним і простим у реалізації. Перевагою запропонованого підходу є можливість його використання для формулювання і вирішення будь-яких задач прийняття рішень за допомогою стохастичної дробово-лінійної моделі, заснованої на перетворенні стохастичної лінійної моделі в детерміновану лінійну модель, шляхом заміни стохастичних параметрів відповідними математичними очікуваннями і перетворення детермінованої дробово-лінійної моделі в детерміновану лінійну модель з використанням методу цільового програмування.

Ключові слова: стохастичні моделі, задачі дробового програмування, цільове програмування, спільний розподіл ймовірностей.