

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.349975

**DEVELOPMENT OF A SCIENTIFIC AND
METHODOLOGICAL APPARATUS FOR ENSURING
THE FUNCTIONAL RELIABILITY
OF SPECIAL-PURPOSE INFORMATION
SYSTEMS (p. 6–18)**

Andrii Shyshatskyi

Kharkiv National Automobile
and Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6731-6390>

Yurii Zhuravskiy

Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4234-9732>

Ganna Plekhova

Kharkiv National Automobile
and Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6912-6520>

Igor Shostak

National Aerospace University
"Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3051-0488>

Elena Odarushchenko

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2293-2576>

Olena Feoktystova

National Aerospace University
"Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8490-3108>

Serhii Shostak

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

Nadiia Protas

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0943-0587>

Olena Shaposhnikova

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

Nataliia Hnatiuk

Yevgeny Berezhnyak Military Academy, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2807-4065>

The object of the study is special-purpose information systems (IS). The problem solved in the study is increasing the functional reliability of special-purpose IS. The development of a scientific and methodological apparatus for providing a functional special-purpose IS was carried out. The originality of the study consists in:

- systematic assessment of the state of functional reliability of special-purpose IS using the proposed principles of its provision;
- construction of multidimensional dependencies of the state of functional reliability of special-purpose IS, which achieves the assessment of functional reliability of IS based on an arbitrary number of indicators;

– assessment of the functional reliability of special-purpose IS using the sharing of measurement data and fuzzy expert assessments, which solves the problem of dimensionality;

– construction of the time dependence of changes in indicators that characterize the state of functional reliability of special-purpose IS, which allows determining the moments of deviation of their values from the nominal one;

– assessment of the functional reliability of information services based on the concept of profiles, which achieves the possibility of decentralized influence on special-purpose IS to increase its functional reliability;

– to reduce uncertainty about the state of functional reliability of special-purpose IS, due to the use of an appropriate approach in the method of assessing the functional reliability of information services based on the concept of profiles.

The proposed scientific and methodological apparatus provides an increase in the efficiency of assessing the functional reliability of the IS by an average of 40%, while ensuring high reliability of the obtained results at the level of 92%, which is confirmed by the results of a numerical experiment.

Keywords: multidimensionality of assessment, complex systems, promptness of assessment, reliability of the decision, comprehensive assessment.

References

1. Sova, O., Radzivilov, H., Shyshatskyi, A., Shvets, P., Tkachenko, V., Nevhad, S. et al. (2022). Development of a method to improve the reliability of assessing the condition of the monitoring object in special-purpose information systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (3 (116)), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254122>
2. Dudnyk, V., Sinenko, Y., Matsyk, M., Demchenko, Y., Zhyvotovskiy, R., Repilo, I. et al. (2020). Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (105)), 37–47. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
3. Sova, O., Shyshatskyi, A., Salnikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., Hrokholskyi, Y. (2021). Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 30–40. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>
4. Pievtsov, H., Turinskyi, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., Shyshatskyi, A. (2020). Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 78–89. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>
5. Zuiev, P., Zhyvotovskiy, R., Zvieriev, O., Hatsenko, S., Kuprii, V., Nakonechnyi, O. et al. (2020). Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (106)), 14–23. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>
6. Wang, J., Neil, M., Fenton, N. (2020). A Bayesian network approach for cybersecurity risk assessment implementing and extending the FAIR

- model. *Computers & Security*, 89, 101659. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2019.101659>
7. Matheu-García, S. N., Hernández-Ramos, J. L., Skarmeta, A. F., Baldini, G. (2019). Risk-based automated assessment and testing for the cybersecurity certification and labelling of IoT devices. *Computer Standards & Interfaces*, 62, 64–83. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2018.08.003>
 8. Henriques de Gusmão, A. P., Mendonça Silva, M., Poletto, T., Camara e Silva, L., Cabral Seixas Costa, A. P. (2018). Cybersecurity risk analysis model using fault tree analysis and fuzzy decision theory. *International Journal of Information Management*, 43, 248–260. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.08.008>
 9. Folorunso, O., Mustapha, O. A. (2015). A fuzzy expert system to Trust-Based Access Control in crowdsourcing environments. *Applied Computing and Informatics*, 11 (2), 116–129. <https://doi.org/10.1016/j.aci.2014.07.001>
 10. Mohammad, A. (2020). Development of the concept of electronic government construction in the conditions of synergetic threats. *Technology Audit and Production Reserves*, 3 (2 (53)), 42–46. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.207066>
 11. Bodin, L. D., Gordon, L. A., Loeb, M. P., Wang, A. (2018). Cybersecurity insurance and risk-sharing. *Journal of Accounting and Public Policy*, 37 (6), 527–544. <https://doi.org/10.1016/j.jaccpubpol.2018.10.004>
 12. Cormier, A., Ng, C. (2020). Integrating cybersecurity in hazard and risk analyses. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 64, 104044. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104044>
 13. Hoffmann, R., Napiórkowski, J., Protasowicki, T., Stanik, J. (2020). Risk based approach in scope of cybersecurity threats and requirements. *Procedia Manufacturing*, 44, 655–662. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.243>
 14. Perrine, K. A., Levin, M. W., Yahia, C. N., Duell, M., Boyles, S. D. (2019). Implications of traffic signal cybersecurity on potential deliberate traffic disruptions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 120, 58–70. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.12.009>
 15. Promyslov, V. G., Semenov, K. V., Shumov, A. S. (2019). A Clustering Method of Asset Cybersecurity Classification. *IFAC-PapersOnLine*, 52 (13), 928–933. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.313>
 16. Zarreh, A., Saygin, C., Wan, H., Lee, Y., Bracho, A. (2018). A game theory based cybersecurity assessment model for advanced manufacturing systems. *Procedia Manufacturing*, 26, 1255–1264. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.162>
 17. Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24 (1), 65–75. [https://doi.org/10.1016/s0020-7373\(86\)80040-2](https://doi.org/10.1016/s0020-7373(86)80040-2)
 18. Koval, M., Sova, O., Shyshatskyi, A., Artabaiev, Y., Garashchuk, N., Yivzhenko, Y. et al. (2022). Improving the method for increasing the efficiency of decision-making based on bio-inspired algorithms. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (120)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268621>
 19. Shyshatskyi, A. (Ed.) (2024). *Information and control systems: modelling and optimizations*. Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC. <https://doi.org/10.15587/978-617-8360-04-7>
 20. Voznytsia, A., Sharonova, N., Babenko, V., Ostapchuk, V., Neronov, S., Feoktystov, S. et al. (2025). Development of methods for intelligent assessment of parameters in decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (4 (136)), 73–82. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.337528>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352271

DEVELOPMENT OF A UNIFIED SPECTRAL-CORRELATION PHASE MATHEMATICAL MODEL FOR SINGLE-PASS JOINT ESTIMATION OF TIME DELAY AND DIRECTION OF ARRIVAL IN NOISY WIDEBAND SIGNALS (p. 19–35)

Anar Khabay

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0409-1531>

Nurzहित Smailov

Institute of Mechanics and Mechanical Engineering named after Academician U. A. Dzholdasbekov, Almaty, Republic of Kazakhstan
Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7264-2390>

Gulbakhhar Yussupova

ALT University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9765-2221>

Amandyk Tuleshov

Institute of Mechanics and Mechanical Engineering named after Academician U. A. Dzholdasbekov, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9775-3049>

Valentyn Tsymporenko

Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6843-8960>

Vitaliy Tsymporenko

Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8559-006X>

Zhandos Dosbayev

Institute of Mechanics and Mechanical Engineering named after Academician U. A. Dzholdasbekov, Almaty, Republic of Kazakhstan
Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1673-4036>

Gulden Khairusheva

Kazakhstan University Innovation and Telecommunications Systems, Uralsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0652-5088>

Akezhan Sabibolda

Institute of Mechanics and Mechanical Engineering named after Academician U. A. Dzholdasbekov, Almaty, Republic of Kazakhstan
Almaty Academy of Ministry of Internal Affairs, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1186-7940>

The object of this study is the delay and direction of arrival (DOA) of wideband signals in additive noise observed by a synchronized two-channel receiving system. The problem is that most wideband delay and DOA estimation methods rely on multi-stage or iterative procedures – such as peak search, covariance and eigen-decomposition, angular scanning, or sparse recovery – which increase computational load and restrict real-time applicability.

The essence of the obtained results is a unified spectral-correlation model that enables joint estimation of delay and DOA directly from the phase of the complex cross-spectrum. The delay is determined from the linear phase slope with respect to frequency, while the DOA is obtained from a deterministic phase offset defined by the known antenna baseline. This formulation eliminates iterative refinement and angular scanning and reduces computational complexity to $O(N \log_2 N)$.

Numerical experiments with linear frequency-modulated signals in Gaussian noise demonstrate predictable accuracy behavior: with increasing signal-to-noise ratio, the DOA root-mean-square error decreases from 0.15–0.18° to 0.03–0.04°, while the delay error decreases from tens of nanoseconds to a few nanoseconds.

These results are explained by the deterministic relationship between time shifts, spatial delays, and phase behavior in the frequency domain under stationary noise conditions. The proposed model can be applied in practice for synchronized two-channel wideband reception with known geometry and fixed antenna baseline in real-time passive monitoring and direction-finding systems.

Keywords: spectral-correlation analysis, mathematical modeling, one-pass estimation, time delay and direction of arrival, wideband signals.

References

- Grenier, D., Elahian, B., Blanchard-Lapierre, A. (2014). Joint delay and direction of arrivals estimation in mobile communications. *Signal, Image and Video Processing*, 10 (1), 45–54. <https://doi.org/10.1007/s11760-014-0700-1>
- El-Khamy, S. E., El-Shazly, A. M., Eltrass, A. S. (2024). A Compressive Sensing Based Computationally Efficient High-Resolution DOA Estimation of Wideband Signals Using Generalized Coprime Arrays. *Wireless Personal Communications*, 134 (3), 1571–1597. <https://doi.org/10.1007/s11277-024-10969-9>
- Tang, Y., Deng, W., Li, J., Zhang, X. (2023). Direction of Arrival Estimation of Coherent Wideband Sources Using Nested Array. *Sensors*, 23 (15), 6984. <https://doi.org/10.3390/s23156984>
- Zeng, Y., Lu, G. (2016). Efficient wideband signals' direction of arrival estimation method with unknown number of signals. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12 (11), 155014771667655. <https://doi.org/10.1177/1550147716676557>
- Turlykozhayeva, D., Temesheva, S., Ussipov, N., Bolysbay, A., Akhmetali, A., Akhtanov, S., Tang, X. (2024). Experimental Performance Comparison of Proactive Routing Protocols in Wireless Mesh Network Using Raspberry Pi 4. *Telecom*, 5 (4), 1008–1020. <https://doi.org/10.3390/telecom5040051>
- Turlykozhayeva, D. A., Akhtanov, S. N., Zhanabaev, Z. Z., Ussipov, N. M., Akhmetali, A. (2025). A routing algorithm for wireless mesh network based on information entropy theory. *IET Communications*, 19 (1). <https://doi.org/10.1049/cmu2.70011>
- Turlykozhayeva, D., Wójcik, W., Akhmetali, A., Ussipov, N., Temesheva, S., Akhtanov, S. (2024). Single gateway placement in wireless mesh networks. *Physical Sciences and Technology*, 11 (1-2), 43–48. <https://doi.org/10.26577/phst2024v11i1a5>
- Turlykozhayeva, D. A. (2024). Evaluating routing algorithms across different wireless mesh network topologies using ns-3 simulator. *Eurasian Physical Technical Journal*, 21 (2 (48)), 70–82. <https://doi.org/10.31489/2024no2/70-82>
- Smailov, N., Nussupov, Y., Taissariyeva, K., Kuttybayev, A., Baigulbayeva, M., Turumbetov, M. et al. (2025). Identification of dangerous situations in the road infrastructure using unmanned aerial vehicles. *Technology Audit and Production Reserves*, 6 (2 (86)), 97–102. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.347074>
- Abdelkhalek, M., Ben Amor, S., Affes, S. (2024). Data-Aided Maximum Likelihood Joint Angle and Delay Estimator Over Orthogonal Frequency Division Multiplex Single-Input Multiple-Output Channels Based on New Gray Wolf Optimization Embedding Importance Sampling. *Sensors*, 24 (17), 5821. <https://doi.org/10.3390/s24175821>
- Liu, L., Gu, J.-F., Wei, P. (2019). Joint DOA and frequency estimation with sub-Nyquist sampling. *Signal Processing*, 154, 87–96. <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2018.08.009>
- Cui, X., Yu, K., Lu, S. (2018). Approximate Closed-Form TDOA-Based Estimator for Acoustic Direction Finding via Constrained Optimization. *IEEE Sensors Journal*, 18 (8), 3360–3371. <https://doi.org/10.1109/jsen.2018.2803150>
- Selva, J. (2018). Efficient Wideband DOA Estimation Through Function Evaluation Techniques. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 66 (12), 3112–3123. <https://doi.org/10.1109/tsp.2018.2824256>
- Zhong, J., Chen, T., Peng, F., Bi, X., Chen, Z. (2022). Direction of arrival estimation based on slope fitting of wideband array signal in fractional Fourier transform domain. *IET Radar, Sonar & Navigation*, 17 (3), 422–434. <https://doi.org/10.1049/rsn2.12350>
- Du, J., Cui, W., Ba, B., Jian, C., Zhang, L. (2022). Joint Estimation for Time Delay and Direction of Arrival in Reconfigurable Intelligent Surface with OFDM. *Sensors*, 22 (18), 7083. <https://doi.org/10.3390/s22187083>
- Gaber, A., Omar, A. (2015). A Study of Wireless Indoor Positioning Based on Joint TDOA and DOA Estimation Using 2-D Matrix Pencil Algorithms and IEEE 802.11ac. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 14 (5), 2440–2454. <https://doi.org/10.1109/twc.2014.2386869>
- Liu, L., Liu, H. (2016). Joint Estimation of DOA and TDOA of Multiple Reflections in Mobile Communications. *IEEE Access*, 1–1. <https://doi.org/10.1109/access.2016.2584088>
- Jin, F., Qiu, T., Luan, S., Cui, W. (2019). Joint Estimation of the DOA and the Number of Sources for Wideband Signals Using Cyclic Correntropy. *IEEE Access*, 7, 42482–42494. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2904287>
- Choo, Y., Park, Y., Seong, W. (2020). Detection of Direction-Of-Arrival in Time Domain Using Compressive Time Delay Estimation with Single and Multiple Measurements. *Sensors*, 20 (18), 5431. <https://doi.org/10.3390/s20185431>
- Zhou, X., Liu, Y., Zhang, J., Tong, D., Yang, X. (2025). Broadband Direction Finding by Phase Correlation With Circular Time-Modulated Array Antennas. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2025 (1). <https://doi.org/10.1155/ijap/8070799>
- Tsyporenko, V. G., Tsyporenko, V. V., Andreiev, O. V., Sabibolda, A. M. (2021). Digital spectral correlation method for measuring radio signal reception delay and direction finding. *Technical Engineering*, 2 (88), 113–121. [https://doi.org/10.26642/ten-2021-2\(88\)-113-121](https://doi.org/10.26642/ten-2021-2(88)-113-121)
- Smailov, N., Tsyporenko, V., Ualiyev, Z., Issova, A., Dosbayev, Z., Tashtay, Y. et al. (2025). Improving accuracy of the spectral-correlation direction finding and delay estimation using machine learning. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (5 (134)), 15–24. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.327021>
- Sabibolda, A., Tsyporenko, V., Tsyporenko, V., Smailov, N., Zhunussov, K., Abdykadyrov, A. et al. (2022). Improving the accuracy and performance speed of the digital spectral-correlation method for measuring delay in radio signals and direction finding. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (9 (115)), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252561>
- Smailov, N., Tsyporenko, V., Sabibolda, A., Tsyporenko, V., Kabdoldina, A., Zhekambayeva, M. et al. (2023). Improving the accuracy of a digital spectral correlation-interferometric method of direction

finding with analytical signal reconstruction for processing an incomplete spectrum of the signal. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (125)), 14–25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.288397>

25. Sabibolda, A., Tsyporenko, V., Smailov, N., Tsyporenko, V., Abdykadyrov, A. (2024). Estimation of the Time Efficiency of a Radio Direction Finder Operating on the Basis of a Searchless Spectral Method of Dispersion-Correlation Radio Direction Finding. *Advances in Asian Mechanism and Machine Science*, 62–70. https://doi.org/10.1007/978-3-031-67569-0_8
26. Abdullayev, M., Kuttybayeva, A., Tazhen, K., Khabay, A., Ospanova, N., Tashtay, Y. et al. (2025). Development of a stratospheric airship-based network architecture for telecommunication in remote areas. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (137)), 82–92. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.340990>
27. Seidaliyeva, U., Ilipbayeva, L., Utebayeva, D., Smailov, N., Matson, E. T., Tashtay, Y. et al. (2025). LiDAR Technology for UAV Detection: From Fundamentals and Operational Principles to Advanced Detection and Classification Techniques. *Sensors*, 25 (9), 2757. <https://doi.org/10.3390/s25092757>
28. Smailov, N., Akmardin, S., Ayapbergenova, A., Ayapbergenova, G., Kadyrova, R., Sabibolda, A. (2025). Analiza wydajności VLC w optycznych systemach komunikacji bezprzewodowej do zastosowań wewnętrznych. *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 15 (2), 135–138. <https://doi.org/10.35784/iappos.6971>
29. Abdykadyrov, A., Abdullayev, M., Kuttybayeva, A., Tazhen, K., Kystaubayev, N. et al. (2025). Development and evaluation of radio frequency management approaches for stratospheric communication systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (5 (135)), 17–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.331607>
30. Zhao, Y., Zheng, G., Wang, J., Liu, J., Dong, S., Xin, J. (2025). Efficient Support Vector Regression for Wideband DOA Estimation Using a Genetic Algorithm. *Sensors*, 25 (9), 2915. <https://doi.org/10.3390/s25092915>
31. Li, L., Younan, N. H., Shi, X. (2019). Joint Estimation of Doppler Stretch and Time Delay of Wideband Echoes for LFM Pulse Radar Based on Sigmoid-FRFT Transform under the Impulsive Noise Environment. *Electronics*, 8 (2), 121. <https://doi.org/10.3390/electronics8020121>

DOI 10.15587/1729-4061.2026.353218

DETERMINING THE STATISTICAL PROPERTIES OF A ROBUST CONTROL OBJECT IDENTIFICATION ALGORITHM USING MIXED CORRENTROPY (p. 36–47)

Oleksandr Bezsonov

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6104-4275>

Serhii Liashenko

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8304-9309>

Oleg Rudenko

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0859-2015>

Serhii Rudenko

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0912-2106>

Kyrylo Oliinyk

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8536-5217>

Identification process in stationary and non-stationary control objects has been investigated in this study. The task addressed is to construct mathematical models, to devise methods and procedures, and to develop programs focused on solving object identification problems.

This paper tackles the issue of robust identification of control objects under the action of additive random noise of various statistical nature, in particular Gaussian and non-Gaussian noise. An approach to building identification algorithms based on the mixed correntropy criterion has been proposed, which combines the advantages of classical mean-square methods and information-theoretic optimality criteria.

The use of Price's theorem made it possible to define convergence conditions for the robust identification algorithm in both stationary and non-stationary cases in the presence of Gaussian and non-Gaussian noise. The influence of algorithm parameters and noise characteristics on its dynamic properties has been established. Expressions for determining the optimal values of the algorithm's convergence parameter, which ensure the maximum convergence rate, have been derived.

To confirm theoretical findings, simulation modeling was carried out, the results of which confirm the effectiveness of the proposed approach and its advantages compared to conventional identification methods, especially under conditions of non-Gaussian noise and nonstationarity, which indicates the feasibility of its use in adaptive and robust control systems.

However, the resulting estimates are rather general and depend both on the degree of nonstationarity of the object and on the statistical characteristics of usable signals and disturbances, which are often unknown. Therefore, the results could be applied in practice if such information is available or when estimates of these characteristics are used.

Keywords: robust resilience; correntropy; kernel; algorithm convergence; steady state; simulation modeling.

References

1. Frank, S. A. (2018). *Control Theory Tutorial*. In SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-91707-8>
2. Petropoulos, F., Apiletti, D., Assimakopoulos, V., Babai, M. Z., Barrow, D. K., Ben Taieb, S. et al. (2022). Forecasting: theory and practice. *International Journal of Forecasting*, 38 (3), 705–871. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2021.11.001>
3. Nasrabad, N. M. (2006). Pattern Recognition and Machine Learning. *Journal of Electronic Imaging*, 16 (4). <https://doi.org/10.1117/1.2819119>
4. Huber, P. J., Ronchetti, E. M. (2009). *Robust Statistics*. Wiley Series in Probability and Statistics. <https://doi.org/10.1002/9780470434697>
5. Hampel, F. R., Ronchetti, E. M., Rousseeuw, P. J., Stahel, W. A. (2005). *Robust Statistics*. Wiley Series in Probability and Statistics. <https://doi.org/10.1002/9781118186435>
6. Chambers, J. A., Tanrikulu, O., Constantinides, A. G. (1994). Least mean mixed-norm adaptive filtering. *Electronics Letters*, 30 (19), 1574–1575. <https://doi.org/10.1049/el:19941060>

7. Arenas-García, J., Figueiras-Vidal, A. R. (2005). Adaptive combination of normalised filters for robust system identification. *Electronics Letters*, 41 (15), 874–875. <https://doi.org/10.1049/el:20051936>
8. Rudenko, O., Bezsonov, O., Lebediev, O., Serdiuk, N. (2019). Robust identification of non-stationary objects with nongaussian interference. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (4 (101)), 44–52. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.181256>
9. Pazaitis, D. I., Constantinides, A. G. (1999). A novel kurtosis driven variable step-size adaptive algorithm. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 47 (3), 864–872. <https://doi.org/10.1109/78.747793>
10. Principe, J. C. (2010). *Information Theoretic Learning*. In *Information Science and Statistics*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1570-2>
11. Principe, J. C., Xu, D., Zhao, Q., Fisher, J. W. (2000). Learning from Examples with Information Theoretic Criteria. *Journal of VLSI Signal Processing Systems for Signal, Image and Video Technology*, 26 (1-2), 61–77. <https://doi.org/10.1023/a:1008143417156>
12. Chen, B., Zhu, Y., Hu, J., Principe, J. C. (2013). System Parameter Identification: Information Criteria and Algorithms. Elsevier Inc., 249. <https://doi.org/10.1016/c2012-0-01233-1>
13. Santamaria, I., Pokharel, P. P., Principe, J. C. (2006). Generalized correlation function: definition, properties, and application to blind equalization. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 54 (6), 2187–2197. <https://doi.org/10.1109/tsp.2006.872524>
14. Liu, W., Pokharel, P. P., Principe, J. C. (2007). Correntropy: Properties and Applications in Non-Gaussian Signal Processing. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 55 (11), 5286–5298. <https://doi.org/10.1109/tsp.2007.896065>
15. Flores, T. K. S., Villanueva, J. M. M., Gomes, H. P., Catunda, S. Y. C. (2021). Adaptive Pressure Control System Based on the Maximum Correntropy Criterion. *Sensors*, 21 (15), 5156. <https://doi.org/10.3390/s21155156>
16. Leite, G. R., Araújo, Í. B. Q. de, Martins, A. de M. (2023). Regularized Maximum Correntropy Criterion Kalman Filter for Uncalibrated Visual Servoing in the Presence of Non-Gaussian Feature Tracking Noise. *Sensors*, 23 (20), 8518. <https://doi.org/10.3390/s23208518>
17. Wu, C., Lin, D., Zheng, Y., He, F., Wang, S. (2026). Maximum correntropy criterion-based Kalman filter for replay attack in non-Gaussian noises. *Signal Processing*, 238, 110098. <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2025.110098>
18. Rudenko, O., Bezsonov, O., Borysenko, V., Borysenko, T., Lyashenko, S. (2021). Developing a multi-step recurrent algorithm to maximize the criteria of correntropy. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (4 (109)), 54–63. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225765>
19. Chen, B., Wang, X., Li, Y., Principe, J. C. (2019). Maximum Correntropy Criterion With Variable Center. *IEEE Signal Processing Letters*, 26 (8), 1212–1216. <https://doi.org/10.1109/lsp.2019.2925692>
20. Rudenko, O., Bezsonov, O. (2022). Adaptive identification under the maximum correntropy criterion with variable center. *RADIO-ELECTRONIC AND COMPUTER SYSTEMS*, 1, 216–228. <https://doi.org/10.32620/reks.2022.1.17>
21. Hu, C., Wang, G., Ho, K. C., Liang, J. (2021). Robust Ellipse Fitting With Laplacian Kernel Based Maximum Correntropy Criterion. *IEEE Transactions on Image Processing*, 30, 3127–3141. <https://doi.org/10.1109/tip.2021.3058785>
22. Ye, X., Lu, S., Wang, J., Wu, D., Zhang, Y. (2023). Robust State Estimation Using the Maximum Correntropy Cubature Kalman Filter with Adaptive Cauchy-Kernel Size. *Electronics*, 13 (1), 114. <https://doi.org/10.3390/electronics13010114>
23. Chen, B., Xie, Y., Wang, X., Yuan, Z., Ren, P., Qin, J. (2022). Multikernel Correntropy for Robust Learning. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 52 (12), 13500–13511. <https://doi.org/10.1109/tcyb.2021.3110732>
24. Xue, N., Luo, X., Gao, Y., Wang, W., Wang, L., Huang, C., Zhao, W. (2019). Kernel Mixture Correntropy Conjugate Gradient Algorithm for Time Series Prediction. *Entropy*, 21 (8), 785. <https://doi.org/10.3390/e21080785>
25. Li, X., Guo, Y., Meng, Q. (2022). Variational Bayesian-Based Improved Maximum Mixture Correntropy Kalman Filter for Non-Gaussian Noise. *Entropy*, 24 (1), 117. <https://doi.org/10.3390/e24010117>
26. Li, G., Zhang, H., Wang, S., Wang, G., Zhao, J. (2025). Generalized mixed-norm maximum correntropy for robust adaptive filtering. *Applied Acoustics*, 228, 110382. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2024.110382>
27. Yuan, C., Zhou, C., Peng, J., Li, H. (2024). Mixture correntropy-based robust distance metric learning for classification. *Knowledge-Based Systems*, 295, 111791. <https://doi.org/10.1016/j.knsys.2024.111791>
28. Bai, X., Ge, Q., Zeng, P. (2025). DCM_MCCKF: A non-Gaussian state estimator with adaptive kernel size based on CS divergence. *Neurocomputing*, 617, 128809. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2024.128809>
29. Li, S., Xu, S., Jin, X., Tan, P. (2025). Comparison of Kernel Functions in Generalized M-estimation Using Fixed-Point Iteration. *Advances in Guidance, Navigation and Control*, 596–605. https://doi.org/10.1007/978-981-96-2216-0_57
30. Price, R. (1958). A useful theorem for nonlinear devices having Gaussian inputs. *IEEE Transactions on Information Theory*, 4 (2), 69–72. <https://doi.org/10.1109/tit.1958.1057444>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352398

CONSTRUCTION OF A MODEL FOR MEASURING LIQUEFIED GAS VOLUME BASED ON AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK (p. 48–55)

Bogdan Knysh

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6779-4349>

Yaroslav Kulyk

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8327-8259>

Oleksandr Pavlyuk

Vasyl' Stus Donetsk National University, Vinnitsia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5834-4461>

This study investigates the process of quantifying liquefied gas volume using an artificial neural network. The task addressed relates to the insufficient efficiency of existing methods for measuring liquefied gas volume. It can be partially solved by measuring the parameters of liquefied gas in cylinders remotely and by processing the data with an artificial neural network to quantify its volume. However, there is another issue associated with the complexity of using artificial neural networks in combination with corresponding peripherals, in particular devices, means, sensors, gauges, etc., and the need for significant computing power.

This paper suggests a model for measuring liquefied gas volume, which takes into account its physical characteristics, based on an artificial neural network that provides communication with gas measurement devices. The mechanism behind such result involves training the model based on performance indicators derived from input data, taking into account the formed features.

High generalization ability and efficiency are illustrated by the coefficient of determination, which equals 0.999245. High accuracy is illustrated by the overall low average value of a mean absolute error, which equals 1%. That was made possible by the distinctive features of the proposed solution, namely the optimized model architecture in accordance with the object of study and its input features. These features are the signal from a photodetector, which characterizes the level of liquefied gas, the angles of the cylinder in the vertical plane, as well as in the horizontal plane.

The results could be applied to tasks involving the measurement of liquefied gas volume, especially at oil and gas processing plants, gas filling stations, gas storage facilities, etc.

Keywords: liquefied gas, artificial neural network, mean absolute error, coefficient of determination.

References

- Bilynskyi, Y. Y., Knysh, B. P. (2017). Termooptychnyi metod i zasib vymiriuvannoho kontroliu komponentiv skraplenoho naftovoho hazu. Vynnytsia: VNTU, 112. Available at: <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/317>
- ISO 24431:2016. Gas cylinders – Seamless, welded and composite cylinders for compressed and liquefied gases (excluding acetylene) – Inspection at time of filling. Available at: <https://www.iso.org/standard/63063.html>
- Chernova, O., Kryvenko, G. (2020). Danger analysis at gas filling stations. *Ecological Sciences*, 31 (4). <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.4-31.19>
- Knysh, B., Kulyk, Y. (2025). Construction of a model for measurement control over liquefied petroleum gas components based on a multilayer perceptron. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (6 (137)), 14–22. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.340608>
- Knysh, B. P., Kulyk, Ya. A. (2025). Development of a Model Using a Multilayer Perceptron for Methane Concentration Measurement System Based on a Wireless Opto-Electronic Sensor. *Visnyk of Vinnytsia Politechnical Institute*, 182 (5), 192–199. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2025-182-5-192-199>
- Zhou, K., Liu, Y. (2021). Early-Stage Gas Identification Using Convolutional Long Short-Term Neural Network with Sensor Array Time Series Data. *Sensors*, 21 (14), 4826. <https://doi.org/10.3390/s21144826>
- Howard, A. G., Zhu, M., Chen, B., Kalenichenko, D., Wang, W., Weyand, T. et al. (2017). MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1704.04861>
- Zhang, X., Zhou, X., Lin, M., Sun, J. (2018). ShuffleNet: An Extremely Efficient Convolutional Neural Network for Mobile Devices. 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 6848–6856. <https://doi.org/10.1109/cvpr.2018.00716>
- Dejband, E., Manie, Y. C., Deng, Y.-J., Bitew, M. A., Tan, T.-H., Peng, P.-C. (2023). High Accuracy and Cost-Effective Fiber Optic Liquid Level Sensing System Based on Deep Neural Network. *Sensors*, 23 (4), 2360. <https://doi.org/10.3390/s23042360>
- Ramirez-Cortes, J. M., Rodriguez-Montero, P., Gomez-Gil, P., Sanchez-Diaz, J. C. (2021). Non-Contact Liquid Level Measurement Using Optical Interferometry and Neural Networks. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 24 (5), 20–27. <https://doi.org/10.1109/mim.2021.9491000>
- Nagi, S. K., Dehnaw, A. M., Chung, Y.-J., Kumar, P., Zhong, Z.-G., Peng, P.-C. (2025). Fiber-Bragg-grating-based optical fiber sensing system integrated with ensemble deep learning for enhanced liquid level sensing. 29th International Conference on Optical Fiber Sensors, 285. <https://doi.org/10.1117/12.3061955>
- Ren, W., Jin, N., OuYang, L., Zhai, L., Ren, Y. (2021). Gas Volume Fraction Measurement of Oil-Gas-Water Three-Phase Flows in Vertical Pipe by Combining Ultrasonic Sensor and Deep Attention Network. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 70, 1–9. <https://doi.org/10.1109/tim.2020.3031186>
- Zhang, L., Liu, Y., Liu, J. (2025). Gas Volume Fraction Measurement for Gas-Liquid Two-Phase Flow Based on Dual CNN-Transformer Mixture Neural Network. *IEEE Sensors Journal*, 25 (13), 25108–25118. <https://doi.org/10.1109/jsen.2025.3571727>
- Mayet, A. M., Fouladinia, F., Hanus, R., Parayangat, M., Raja, M. R., Muqet, M. A., Mohammed, S. A. (2024). Multiphase Flow's Volume Fractions Intelligent Measurement by a Compound Method Employing Cesium-137, Photon Attenuation Sensor, and Capacitance-Based Sensor. *Energies*, 17 (14), 3519. <https://doi.org/10.3390/en17143519>
- Sifakis, N., Sarantinoudis, N., Tsinarakis, G., Politis, C., Arampatzis, G. (2023). Soft Sensing of LPG Processes Using Deep Learning. *Sensors*, 23 (18), 7858. <https://doi.org/10.3390/s23187858>
- Bilynskyi, Y. Y., Knysh, B. P. (2014). Pat. No. 86552 UA. Prystryi dlia vyznachennia obiemu zridzhenoho hazu. No. u201304700; declared: 15.04.2013; published: 10.01.2014. Available at: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/1599?show=full>
- Rožanec, J. M., Trajkova, E., Lu, J., Sarantinoudis, N., Arampatzis, G., Eirinakis, P. et al. (2021). Cyber-Physical LPG Debutanizer Distillation Columns: Machine-Learning-Based Soft Sensors for Product Quality Monitoring. *Applied Sciences*, 11 (24), 11790. <https://doi.org/10.3390/app112411790>
- Dawod, R. G., Dobre, C. (2022). ResNet interpretation methods applied to the classification of foliar diseases in sunflower. *Journal of Agriculture and Food Research*, 9, 100323. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100323>
- Zivenko, O. (2019). LPG accounting specificity during its storage and transportation. *Measuring Equipment and Metrology*, 80 (3), 21–27. <https://doi.org/10.23939/istcmtm2019.03.021>
- Hasselgren, T. (2024). Radar's Solutions For LPG Storage. *Emerson*, 20 (1), 74–75. Available at: <https://www.emerson.com/documents/automation/article-radar-s-solution-for-lpg-storage-en-11301328.pdf>
- Sun, Q., Liu, T., Xu, J., Li, H., Huang, M. (2024). Rapid Recognition and Concentration Prediction of Gas Mixtures Based on SMLP. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 73, 1–9. <https://doi.org/10.1109/tim.2024.3386203>
- Cai, S., Mao, Z., Wang, Z., Yin, M., Karniadakis, G. E. (2021). Physics-informed neural networks (PINNs) for fluid mechanics: a review. *Acta Mechanica Sinica*, 37 (12), 1727–1738. <https://doi.org/10.1007/s10409-021-01148-1>
- Gupta, A. (2025). Assessing the Limits of Graph Neural Networks for Vapor-Liquid Equilibrium Prediction: A Cryogenic Mixture Case Study. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2509.10565>

24. Wang, D., Lian, J., Li, C., Wang, Y. (2025). Deep learning predictions on a new dataset: Natural gas production and liquid level detection. *PLOS One*, 20 (10), e0333905. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0333905>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.353251

THE CONSTRUCTION OF GROUP SEARCH ALGORITHM FOR THE SECRETARY PROBLEM (p. 56–64)

Serhii Dotsenko

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2913-3790>

Anastasia Vecherkovskaya

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2054-2715>

The object of this study is a generalized secretary problem in which candidates are divided into groups of varying sizes and are observed simultaneously within each group. The problem addressed is to determine the optimal order of reviewing such groups in order to maximize the probability of selecting the best candidate.

The results obtained consist in the development of an efficient group ordering algorithm that combines theoretical findings based on Bruss's odds theorem with numerical modeling using the Monte Carlo method. Owing to its specific features and distinctive advantages, the proposed approach increases the probability of selecting the best candidate by 8–15% compared to a random group order. This is achieved through two proven lemmas that restrict consideration only to those permutations in which the groups considered as candidates for stopping are ordered in non-increasing size, and the search begins with the largest group. Such an algorithm makes the problem computationally feasible even for a moderately large number of groups.

The obtained results are explained by the fact that uneven distributions of group sizes introduce exploitable structural asymmetries. The proposed ordering strategy effectively leverages this unevenness, which is confirmed by numerical experiments demonstrating a positive correlation between the degree of unevenness and the probability of successful selection.

The practical applicability of the results extends to scenarios involving online resource allocation, adaptive algorithms with real-time updates, and decision-support systems. The proposed framework can be efficiently implemented in adaptive recruitment platforms and similar applications, making it relevant not only for theoretical research on optimal stopping problems but also for practical use in operations research, economics, and artificial intelligence.

Keywords: optimal stopping, conditional probability, optimal choice, odds theorem, Monte Carlo simulation.

References

- Ferguson, T. S. (1989). Who Solved the Secretary Problem? *Statistical Science*, 4 (3). <https://doi.org/10.1214/ss/1177012493>
- Dubynetska, P., Sodoma, R. (2023). Osoblyvosti metodiv pidboru kadriv na pidpriemstvo. Abstracts of the I International Scientific-Practical Conference "Problems and Prospects of Business Structures in the Conditions Unstable Processes of Economic Development". Kyiv, 36–38. Available at: https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/13000/1/%D0%97%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BA%D0%B0_%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%84_%D0%9A%D0%95%D0%91%D0%A2_06.04.23.pdf
- Correa, J., Cristi, A., Epstein, B., Soto, J. A. (2024). Sample-Driven Optimal Stopping: From the Secretary Problem to the i.i.d. Prophet Inequality. *Mathematics of Operations Research*, 49 (1), 441–475. <https://doi.org/10.1287/moor.2023.1363>
- Semsar-Kazerooni, E., Khorasani, K. (2009). Multi-agent team cooperation: A game theory approach. *Automatica*, 45 (10), 2205–2213. <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2009.06.006>
- Hsiau, S.-R., Yang, J.-R. (2000). A natural variation of the standard secretary problem. *Statistica Sinica*, 10 (2), 639–646. Available at: <https://www.jstor.org/stable/24306737>
- Bruss, F. T. (2000). Sum the odds to one and stop. *The Annals of Probability*, 28 (3). <https://doi.org/10.1214/aop/1019160340>
- Tamaki, M. (2009). Optimal Choice of the Best Available Applicant in Full-Information Models. *Journal of Applied Probability*, 46 (4), 1086–1099. <https://doi.org/10.1239/jap/1261670690>
- Ano, K., Kakinuma, H., Miyoshi, N. (2010). Odds Theorem with Multiple Selection Chances. *Journal of Applied Probability*, 47 (4), 1093–1104. <https://doi.org/10.1239/jap/1294170522>
- Feldman, M., Izsak, R. (2017). Building a Good Team: Secretary Problems and the Supermodular Degree. *Proceedings of the Twenty-Eighth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms*, 1651–1670. <https://doi.org/10.1137/1.9781611974782.109>
- Blanc, P., Borthagaray, J. P., Kohen, D., Mereb, M. (2017). Secretary problem with quality-based payoff. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1605.06478>
- Goldstein, D. G., McAfee, R. P., Suri, S., Wright, J. R. (2017). Learning in the Repeated Secretary Problem. *Proceedings of the 2017 ACM Conference on Economics and Computation*, 541–541. <https://doi.org/10.1145/3033274.3085112>
- Correa, J., Cristi, A., Feuilleloy, L., Oosterwijk, T., Tsigonias-Dimitriadis, A. (2025). The Secretary Problem with Independent Sampling. *Management Science*, 71 (4), 2778–2801. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2021.01580>
- Dotsenko, S., Shevchenko, G. (2020). Secretary problem with vanishing objects. *Mathematical Game Theory and Applications*, 12 (2), 63–81. https://doi.org/10.17076/mgta_2020_2_16
- Nuti, P., Vondrák, J. (2023). Secretary Problems: The Power of a Single Sample. *Proceedings of the 2023 Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms (SODA)*, 2015–2029. <https://doi.org/10.1137/1.9781611977554.ch77>
- Fujii, K., Yoshida, Y. (2024). The Secretary Problem with Predictions. *Mathematics of Operations Research*, 49 (2), 1241–1262. <https://doi.org/10.1287/moor.2022.0031>
- Braun, A., Sarkar, S. (2024). The Secretary Problem with Predicted Additive Gap. *Advances in Neural Information Processing Systems 37*, 16321–16341. <https://doi.org/10.52202/079017-0521>
- Antoniadis, A., Gouleakis, T., Kleer, P., Kolev, P. (2023). Secretary and online matching problems with machine learned advice. *Discrete Optimization*, 48, 100778. <https://doi.org/10.1016/j.disopt.2023.100778>
- Albers, S., Ladewig, L. (2021). New results for the k-secretary problem. *Theoretical Computer Science*, 863, 102–119. <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2021.02.022>

19. Brera, R., Fu, F. (2023). The satisficing secretary problem: when closed-form solutions meet simulated annealing. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.03220>
20. Hahn, N., Hofer, M., Smorodinsky, R. (2020). The Secretary Recommendation Problem. Proceedings of the 21st ACM Conference on Economics and Computation, 189–189. <https://doi.org/10.1145/3391403.3399478>
21. Chun, Y. H., Moskowitz, H., Plante, R. D. (1993). Optimal Selection Strategy for the Group Interview Problem. *Decision Sciences*, 24 (2), 295–314. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.1993.tb00476.x>
22. Pinsky, R. G. (2023). The secretary problem with non-uniform arrivals via a left-to-right minimum exponentially tilted distribution. *Latin American Journal of Probability and Mathematical Statistics*, 20 (2), 1631. <https://doi.org/10.30757/alea.v20-62>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.349975

РОЗРОБКА НАУКОВО-МЕТОДИЧНОГО АПАРАТУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ НАДІЙНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ (с. 6–18)**А. В. Шишацький, Ю. В. Журавський, Г. А. Плехова, І. В. Шостак, О. Б. Одаруценко, О. І. Феоктистова, С. В. Шостак, Н. М. Протас, О. П. Шапошнікова, Н. В. Гнатюк**

Об'єктом дослідження є інформаційні системи (ІС) спеціального призначення. Проблемою, що вирішувалася в дослідженні, є підвищення функціональної надійності ІС спеціального призначення. Проведено розробку науково-методичного апарату забезпечення функціональної ІС спеціального призначення. Оригінальність дослідження полягає у:

- системному проведенні багаторівневої оцінки стану функціональної надійності ІС спеціального призначення за допомогою запропонованих принципів її забезпечення;
- побудові багатовимірних залежностей стану функціональної надійності ІС спеціального призначення, чим досягається проведення оцінки функціональної надійності ІС за довільною кількістю показників;
- оцінці функціональної надійності ІС спеціального призначення за допомогою спільного використання вимірювальних даних та нечітких експертних оцінок, чим вирішується проблема розмірності;
- побудові часової залежності зміни показників, які характеризують стан функціональної надійності ІС спеціального призначення, чим дозволяється визначити моменти відхилення їх значень від номінального;
- оцінці функціональної надійності інформаційних сервісів на основі концепції профілів, чим досягається можливість децентралізованого впливу на ІС спеціального призначення для підвищення її функціональної надійності;
- зменшенні невизначеності про стан функціональної надійності ІС спеціального призначення, за рахунок використання відповідного підходу в методі оцінки функціональної надійності інформаційних сервісів на основі концепції профілів.

Запропонований науково-методичний апарат забезпечує підвищення оперативності оцінки функціональної надійності ІС в середньому на 40%, при забезпеченні високої достовірності отриманих результатів на рівні 92%, що підтверджується результатами чисельного експерименту.

Ключові слова: багатовимірність оцінки, складні системи, оперативність оцінки, достовірність рішення, комплексна оцінка.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352271

РОЗРОБЛЕННЯ УНІФІКОВАНОЇ СПЕКТРАЛЬНО-КОРЕЛЯЦІЙНОЇ ФАЗОВОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ОДНОХІДНОЇ СПІЛЬНОЇ ОЦІНКИ ЧАСУ ЗАТРИМКИ ТА НАПРЯМУ ПРИХОДУ ШУМОВИХ ШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ (с. 19–35)**Anar Khabay, Nurzhigit Smailov, Gulbakhar Yussupova, Amandyk Tuleshov, В. Г. Ципоренко, В. В. Ципоренко, Zhandos Dosbayev, Gulden Khairusheva, Akezhhan Sabibolda**

Об'єктом цього дослідження є затримка та напрямок приходу (DOA) ширококутних сигналів в адитивному шумі, що спостерігаються синхронізовано двоканальною приймальною системою. Проблема полягає в тому, що більшість методів оцінки ширококутної затримки та DOA спираються на багатоступінні або ітеративні процедури, такі як пошук піків, коваріаційне та власне розкладання, кутове сканування або розріджене відновлення, що збільшує обчислювальне навантаження та обмежує застосовність у реальному часі.

Суть отриманих результатів полягає в уніфікованій спектрально-кореляційній моделі, яка дозволяє спільно оцінювати затримку та DOA безпосередньо з фази комплексного перехресного спектру. Затримка визначається з лінійного фазового нахилу відносно частоти, тоді як DOA отримується з детермінованого фазового зміщення, визначеного відомою базовою лінією антени. Таке формулювання виключає ітеративне уточнення та кутове сканування та зменшує обчислювальну складність до $O(N \log_2 N)$.

Числові експерименти з лінійними частотно-модульованими сигналами в гауссовому шумі демонструють передбачувану поведінку точності: зі збільшенням співвідношення сигнал/шум середньоквадратична похибка DOA зменшується з $0,15\text{--}0,18^\circ$ до $0,03\text{--}0,04^\circ$, тоді як похибка затримки зменшується з десятків наносекунд до кількох наносекунд.

Ці результати пояснюються детермінованим зв'язком між часовими зсувами, просторовими затримками та фазовою поведінкою в частотній області в умовах стаціонарного шуму. Запропонована модель може бути застосована на практиці для синхронізованого двоканального ширококутвого прийому з відомою геометрією та фіксованою базовою лінією антени в пасивних системах моніторингу та пеленгації в реальному часі.

Ключові слова: спектрально-кореляційний аналіз, математичне моделювання, однопрохідна оцінка, затримка часу та напрямок приходу, ширококутні сигнали.

DOI 10.15587/1729-4061.2026.353218

ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РОБАСТНОГО АЛГОРИТМУ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ КЕРУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗМІШАНОЇ КОРЕНТРОПІЇ (с. 36–47)**О. О. Безсонов, С. О. Ляшенко, О. Г. Руденко, С. О. Руденко, К. О. Олійник**

Об'єктом дослідження даної роботи є процеси ідентифікації у стаціонарних та нестаціонарних об'єктах керування. Роботу присвячено актуальній проблемі створення математичних моделей, методів, процедур та програм, орієнтованих на розв'язання задач ідентифікації об'єктів.

У статті досліджується задача робастної ідентифікації об'єктів керування в умовах дії адитивних випадкових завад різної статистичної природи. Запропоновано підхід до побудови алгоритмів ідентифікації на основі критерію змішаної корентропії, який поєднує переваги класичних середньоквадратичних методів та інформаційно-теоретичних критеріїв оптимальності.

Використання теореми Прайса дозволило отримати умови збіжності алгоритму робастної ідентифікації у стаціонарному та нестационарному випадках за наявності гауссівського і негауссівського шуму. Визначено вплив параметрів алгоритму та характеристик шуму на його динамічні властивості. Отримано вирази для визначення оптимальних значень параметра збіжності алгоритму, які забезпечують максимальну швидкість збіжності. Для підтвердження теоретичних результатів проведено імітаційне моделювання, результати якого підтверджують ефективність запропонованого підходу та його переваги порівняно з традиційними методами ідентифікації, особливо в умовах негауссівського шуму та нестационарності, що свідчить про доцільність його застосування в адаптивних і робастних системах керування. Однак отримані оцінки є досить загальними та залежать як від ступеня нестационарності об'єкта, так і від статистичних характеристик корисних сигналів та завад, які часто є невідомими. Тому результати можуть бути використані на практиці за умов наявності такої інформації або при використанні оцінок цих характеристик.

Ключові слова: робастність, корентропія, ядро, збіжність алгоритму, сталий стан, імітаційне моделювання.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352398

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ВИМІРЮВАННЯ ОБ'ЄМУ СКРАПЛЕНОГО ГАЗУ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ (с. 48–55)

Б. П. Книш, Я. А. Кулик, О. А. Павлюк

Об'єктом дослідження є процес вимірювання об'єму скрапленого газу з використанням штучної нейронної мережі. Розглядається проблема недостатньої ефективності існуючих методів вимірювання об'єму скрапленого газу. Частково її можна вирішити шляхом дистанційного вимірювання параметрів скрапленого газу в балонах та обробки отриманих даних штучною нейромережею для вимірювання його об'єму. Проте виникає інша проблема, пов'язана з складністю використання штучних нейронних мереж у поєднанні з відповідною периферією, зокрема пристроями, засобами, сенсорами, датчиками тощо, та потребою в значних обчислювальних потужностях.

В статті представлено модель вимірювання об'єму скрапленого газу, яка враховує його фізичні особливості, на основі штучної нейронної мережі, що забезпечує зв'язок з пристроями вимірювання газу. Механізмом досягнення цих результатів є навчання моделі згідно показників ефективності на основі вхідних даних відповідно до сформованих ознак. Висока узагальнююча здатність та ефективність ілюструється коефіцієнтом детермінації, який склав 0,999245. Висока точність ілюструється низьким загальним середнім значенням середньої абсолютної похибки, яка склала 1%. Це стало можливим завдяки відмінним особливостям запропонованого рішення, а саме оптимізованій архітектурі моделі відповідно до об'єкту дослідження та її вхідним ознакам. Цими ознаками є сигнал з фотоприймального пристрою, що характеризує рівень скрапленого газу, кути розташування балону у вертикальній площині та в горизонтальній площині.

Отримані результати можуть бути використані на практиці у прикладних задачах вимірювання об'єму скрапленого газу, зокрема на нафто- та газопереробних заводах, газозаправних станціях, газових терміналах та сховищах тощо.

Ключові слова: скраплений газ, штучна нейронна мережа, середня абсолютна похибка, коефіцієнт детермінації.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.353251

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ГРУПОВОГО ПОШУКУ ДЛЯ ЗАДАЧІ СЕКРЕТАРЯ (с. 56–64)

С. І. Доценко, А. С. Вечерковська

Об'єктом дослідження є узагальнена задача секретаря, у якій кандидати поділяються на групи різного розміру та спостерігаються одночасно в межах кожної групи. Вирішувалася проблема визначення оптимального порядку перегляду таких груп з метою максимізації ймовірності вибору найкращого кандидата.

Отримані результати полягають у побудові ефективного алгоритму впорядкування груп, який поєднує теоретичні результати, засновані на теоремі шансів Брусса, з чисельним моделюванням методом Монте-Карло.

Завдяки своїм особливостям та характерним відмінностям отримані результати підвищити ймовірність вибору найкращого кандидата на 8–15% порівняно з випадковим порядком вибору. Це досягається за рахунок двох доведених лем, які обмежують розгляд лише тими перестановками, де групи, що розглядаються як кандидати для зупинки, впорядковані за незростанням розміру, а пошук починається з найбільшої групи. Такий алгоритм розв'язання робить задачу обчислювально здійсненною навіть для помірно великої кількості груп.

Отримані результати пояснюються тим, що нерівномірність розмірів груп створює додаткову структурну інформацію, яку ефективно використовує запропонована стратегія впорядкування.

Практичне використання побудованого алгоритму можливе в умовах задач розподілу ресурсів, адаптивних алгоритмів з оновленням у реальному часі, а також у системах підтримки прийняття рішень і рекрутингових платформах. Запропонований алгоритм є релевантним як для теоретичних досліджень задач оптимальної зупинки, так і для прикладних застосувань в операційних дослідженнях, економіці та штучному інтелекті.

Ключові слова: оптимальна зупинка, умовна ймовірність, оптимальний вибір, теорема про шанси, моделювання методом Монте-Карло.