

**INFORMATION TECHNOLOGIES**

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.255334

DESIGN OF IOT-SOLUTION FOR MONITORING AND ANALYSIS OF THE SOLID WASTE STORAGE SYSTEM

pages 6–10

Valentyn Tvardovskyi, Department of Information Systems and Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6048-7023>

Olha Kravchenko, PhD, Associate Professor, Department of Information Systems and Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9669-2579>, e-mail: kravchenko.olga0803@gmail.com

Svetlana Besedina, PhD, Associate Professor, Department of Information Technologies, The Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Cherkasy, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5391-643X>

The object of research is the process of monitoring the filling of garbage tanks of sorted garbage with the help of an automated system based on IoT solution. The paper analyzes existing IoT solutions for monitoring and monitoring the level of fullness of solid waste capacities. The research is important in light of sorting, storage and processing of garbage. The IoT model is proposed for monitoring and analyzing the system of waste recording of solid waste. The IoT solution project involves the creation of a software and hardware for the automated system. The interaction of hardware and software and the implemented root part of the project provide the opportunity to perform the main task – to obtain an assessment of the level of filling capacity for solid waste. Hardware is implemented using a device for analyzing the filling of garbage containers. It is possible to transfer data on the state of the filling of the container. The position of the lid or the same container is taken into account when the container will be inverted or the container lid will be raised. The device itself will be located on the lid on the inside of the container. Also, the device is equipped with a container for burning to prevent potential accidents and emissions into an atmosphere of harmful waste. Software implementation contains the level of programming of tasks for sensors IoT solutions and creates a friendly web-oriented interface. Software implementation is performed on the basis of client-server architecture. To operate the end points of the interaction of local and intermediate servers, the architectural style of REST with the transmission of information in the form of JSON is used. In order to administer an intermediate server, the client part is written on HTML and JavaScript. The application of the IoT solution allows to control the level of filling of containers, optimize routes of garbage trucks, which, in turn, reduces the cost of export of waste for regional operators. The scheme of information exchange in the system of garbage saving is constructed.

Keywords: client-server architecture, system drafting, monitoring of the filling of garbage tanks, hardware, information exchange scheme.

References

1. *Ecube Labs, CleanFLEX, the fill-level sensor*. Available at: <https://www.ecubelabs.com/ultrasonic-fill-level-sensor/>
2. *Datchyk urovnia zapolnenyia Smart City Waste Sens. Binology*. Available at: <https://www.binology.ru/sensor>
3. Our solution. *BrighterBins*. Available at: <https://www.brighterbins.com/the-solution>
4. *Dynamyka popularnosti Arduino, Raspberry, Microbit*. Available at: <https://trends.google.com/trends/explore?date=today%205-y&q=Arduino,Raspberry%20Pi,Microbit>
5. Qamarina, N., Azwady Jamaludin, A., Azizan, A., Abas, H. (2018). Arduino vs Raspberry Pi vs Micro Bit: Platforms for Fast IoT Systems Prototyping. *Open International Journal of Informatics*, 6 (1).
6. Raspberry Pi OS. *Raspberrypi*. Available at: <https://www.raspberrypi.org/documentation/usage/gpio/>
7. Ultrazvukovyi datchyk vidstani HC-SR04. *Arduino*. Available at: <https://arduino.ua/prod182-yltrazvykovoii-datchik-rasstoyaniya-hc-sr04>
8. Laser Sensor User Manual SR04. *Waveshare*. Available at: <https://www.waveshare.com/w/upload/9/93/Laser-Sensor-User-Manual.pdf>
9. *IR datchyk rasstoianyia Sharp GP2Y0A21YK0F*. Available at: <https://www.robostore.com.ua/moduli-i-datchiki/sensory-datchiki-i-moduli/ir-datchik-rasstoyaniya-sharp-gp2y0a21yk0f-10-80-sm/>
10. Modul datchyka polumia KY-026 dlia Arduino. *Robostore*. Available at: <https://www.robostore.com.ua/ua/modul-datchika-plameni-ky-026-dlya-arduino/>
11. How to Choose the Right Language for an IoT Project? (2020). *Scand*. Available at: <https://scand.com/company/blog/top-languages-for-iot-development/>

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.255861

DEVELOPMENT OF INFORMATION TECHNOLOGY FOR ANALYZING THE CUSTOMER CHURN OF A TELECOMMUNICATION COMPANY

pages 11–15

Andrii Papa, Postgraduate Student, Department of Computer Science, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: papa.andriy@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7753-8576>

Yevgen Shemet, Postgraduate Student, Department of Computer Science, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5067-1900>

Andrii Yarovyj, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Computer Science, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6668-2425>

Lyubov Vahovska, Assistant, Department of Computer Science, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4865-6514>

The object of research is the process of analyzing the customer churn of telecommunications companies based on machine learning methods. The existing problem is that, until recently, the process of customer churn was compensated by attracting new customers, but in the modern world, growth

rates are constantly accelerating, the market is filled with a large number of competitors, which leads to a constant increase in customer requirements for products and services. In this regard, the process of attracting new customers becomes more costly and time-consuming, which in turn enhances the importance of maintaining an existing customer base.

The paper considers problematic aspects related to improving the accuracy of predicting the outflow of a company's customers through the use of machine learning methods. The conducted studies are based on the application of an approach implemented by combining the methods of decision trees and nearest neighbors. A positive result cannot be achieved by ignoring the existing resource constraints and requirements, which must be determined separately for each research case.

The relevance of the problem of analysis the outflow of customers for companies with many users is considered. A model for predicting the outflow of customers based on a combination of decision tree and nearest neighbor methods, which is used in the basis of the bagging method, is proposed. One of the features of this approach is the use of a test sample of normalized data. Accordingly, systems can use pre-known information, learn, acquire new knowledge, predict time series, perform classification, and in addition, they are quite obvious to the user. The prospect of choosing these methods is explained by the fact that they were used earlier in data analysis systems and provided sufficiently high-quality results.

The expediency and prospects of applying the proposed approach in the problem of analysis the outflow of customers of telecommunications companies are shown, as well as the design features of information technology and the results of software implementation.

Keywords: machine learning, decision tree, nearest neighbour method, bagging, data analysis.

References

- Papa, A. A., Yarovy, A. A., Prozor, O. P. (2019). *Information technology analysis of the outflow of customers by telecom company*. Available at: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2019/paper/view/7324>
- Papa, A., Shemet, Y., Yarovy, A. (2021). Analysis of fuzzy logic methods for forecasting customer churn. *Technology Audit and Production Reserves*, 1 (2 (57)), 12–14. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.225285>
- Huang, B., Kechadi, M. T., Buckley, B. (2012). Customer churn prediction in telecommunications. *Expert Systems with Applications*, 39 (1), 1414–1425. doi: <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.08.024>
- Tsai, C.-F., Lu, Y.-H. (2009). Customer churn prediction by hybrid neural networks. *Expert Systems with Applications*, 36 (10), 12547–12553. doi: <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.05.032>
- Mahesh, B. (2020). Machine learning algorithms – a review. *International Journal of Science and Research*, 9, 381–386.
- Bühlmann, P., Hothorn, T. (2007). Boosting algorithms: Regularization, prediction and model fitting. *Statistical science*, 22 (4), 477–505. doi: <http://doi.org/10.1214/07-sts242>
- Liang, G., Zhang, C. (2010). Empirical study of bagging predictors on medical data. *Conferences in Research and Practice in Information Technology Series*. Ballarat.
- Ibrahim, R., Yen, S. Y., Pahat, B. (2011). *A Formal Model for Data Flow Diagram Rules 1*. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.206.5214>
- Aleryani, A. Y. (2016). Comparative study between data flow diagram and use case diagram. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 6 (3), 124–126.
- Kovalenko, O. S., Dobrovska, L. M. (2020). *Proektuvannia informatsiinykh system: Zahalni pytannia teorii proektuvannia IS*. Kyiv, 192.

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.255957

AGGREGATION OF MULTIDIMENSIONAL DATA FOR THE DECISION SUPPORT PROCESS FOR THE MANAGEMENT OF MICROGRIDS WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES

pages 16–20

Vira Shendryk, PhD, Department of Information Technology, Sumy State University, Sumy, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8325-3115>

Yuliia Parfenenko, PhD, Department of Information Technology, Sumy State University, Sumy, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4377-5132>, e-mail: yuliya_p@cs.sumdu.edu.ua

Olha Boiko, PhD, Department of Information Technology, Sumy State University, Sumy, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8557-2267>

Sergii Shendryk, PhD, Department of Cybernetic and Informatics, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2034-7920>

Yaroslava Bielka, Independent Researcher, Sumy, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5952-658X>

The object of research is the process of processing and storing data when making decisions on managing the life cycle of electricity generation and consumption in microgrids with renewable energy sources. The prospects of the study are due to the fact that in order to provide a full-fledged decision support process in the management of microgrids with renewable energy sources, it is necessary to consolidate and manipulate multidimensional data in multithreading and online information processing. To solve the problem, the theoretical methods of analysis, abstraction, induction and deduction were used. To ensure multidimensionality and multithreading of data processing, it is proposed to develop a data warehouse based on the snowflake data model. Efficiency of information processing in real time is provided by an operational database built on the principle of OLTP. The organization of the joint work of the data warehouse with the operational database, the consolidation and manipulation of data is provided by triggers.

The result of the work is a data warehouse that will be used in the decision support system for managing energy microgrids, which will improve the efficiency of data processing and storage. This is achieved by combining the work of a centralized data warehouse with an operational database, as well as the use of a separate data mart for each user of the system. The practical significance of the work lies in the fact that the data warehouse will become part of the decision support system for processing information about the life cycle of energy in the management of energy infrastructure. Compared to using a single database for a decision support system, this approach ensures the speed of working with data and allows differentiating between the use of a data warehouse for analytics and data manipulation operations.

The data warehouse was deployed in a cloud environment on the Amazon Web Services (AWS) platform and the Amazon Relational Database Service (Amazon RDS) web

service. Secure access to client data is implemented using data marts.

Keywords: data processing and storage, data warehouse, database, data mart, triggers.

References

1. Cardon, D. (2018). *Database vs. Data Warehouse: A Comparative Review*. Available at: <https://www.healthcatalyst.com/insights/database-vs-data-warehouse-a-comparative-review/>
2. Han, J., Kamber, M., Pei, J. (2012). *Data Mining Concepts and Techniques*. Elsevier, 740. doi: <http://doi.org/10.1016/c2009-0-61819-5>
3. Yang, Q., Ge, M., Helfert, M. (2019). Analysis of Data Warehouse Architectures: Modeling and Classification. *Proceedings of 21st International Conference on Enterprise Information Systems*, 604–611. doi: <http://doi.org/10.5220/0007728006040611>
4. Li, Y., Wang, L., Ji, L., Liao, C. (2013). A Data Warehouse Architecture supporting Energy Management of Intelligent Electricity System. *Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Science and Electronics Engineering*, 696–699. doi: <http://doi.org/10.2991/icsee.2013.177>
5. Samsinar, R., Endro Suseno, J., Edi Widodo, C. (2018). Power Distribution Analysis For Electrical Usage In Province

Area Using Olap (Online Analytical Processing). *Proceedings of the 2nd International Conference on Energy, Environmental and Information System*, 1–5. doi: <http://doi.org/10.1051/e3sconf/20183111010>

6. Gökçe, H. U., Gökçe, K. U. (2014). Multi-dimensional energy monitoring, analysis and optimization system for energy efficient building operations. *Sustainable Cities and Society*, 10, 161–173. doi: <http://doi.org/10.1016/j.scs.2013.08.004>
7. Sarka, D., Lah, M., Jerkic, G. (2014). *Implementing a Data Warehouse with Microsoft SQL Server 2012*. Microsoft Official Academic Course, 816.
8. Levene, M., Loizou, G. (2003). Why is the snowflake schema a good data warehouse design? *Information Systems*, 28 (3), 225–240. doi: [http://doi.org/10.1016/s0306-4379\(02\)00021-2](http://doi.org/10.1016/s0306-4379(02)00021-2)
9. Iqbal, M. Z., Mustafa, G., Sarwar, N., Wajid, S. H., Nasir, J., Siddique, S. (2020). A review of Star schema and Snowflakes Schema. *Intelligent Technologies and Applications*, 129–140. doi: http://doi.org/10.1007/978-981-15-5232-8_12
10. Freedman, A. (2018). *Dedicated vs. Cloud: Comparing dedicated and cloud infrastructure for high availability (HA) and non-high availability applications*. Available at: <https://silo.tips/download/dedicated-vs-cloud-comparing-dedicated-and-cloud-infrastructure-for-high-availab>

SYSTEMS AND CONTROL PROCESSES

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.254273

MATHEMATICAL MODELING OF TOURISM DEVELOPMENT IN TERRITORIAL COMMUNITIES

pages 21–30

Roman Bihun, Postgraduate Student, Department of Information Systems and Networks, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, e-mail: bigunroman@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4363-4532>

Vasyl Lytvyn, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Information Systems and Networks, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9676-0180>

Nazar Oleksiv, Department of Information Systems and Networks, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7821-3522>

In this paper, the problems of development of associations of territorial communities in the tourism direction of economic development are considered.

The object of research is the improvement of territorial communities on the example of Ukraine. One of the most problematic places is the lack of funds for the development of existing large tourist complexes and the creation of new ones.

The study uses the idea that tourism development has a direct stimulating effect on the development of a number of important economic sectors. The use of a mathematical apparatus is also considered, which allows to analyze the main factors influencing the development of the tourism industry of territorial communities. A comprehensive solution of economic, social and environmental issues of sustainable tourism development is impossible without the development of mathematical models and supporting tools that allow predict-

ing the main indicators of sustainable tourism development. The paper considers PLS-PM modeling using such internal consistency criteria as Cronbach’s Alpha coefficient, Dillon-Goldstein coefficient ρ , model reliability, mean variance. The purpose of the PLS-PM model is to obtain estimates of latent variables for further forecasting procedures for the development of the system. The processes taking place in the tourism industry are characterized by a complex interaction of economic, environmental and social factors. Their influence should be taken into account for the implementation of the sustainable tourism development strategy. The analysis of the model was also carried out with the help of a single coefficient of quality of the correspondence of the data model, which characterizes the quality of the internal and external models of the system.

Thanks to the listed tools, the statement is formed that the regulation of key factors of the tourism sector of the economic sector can have a positive impact on the development of national culture and economy in the united territorial communities. The created mathematical model clearly forms the conclusion that the development of tourism in local communities can become the engine of their sustainable economic development, given the available regional conditions.

Keywords: united territorial community, mathematical model of the tourist complex, PLS-PM methodology, sustainable development.

References

1. Voronkova, T., Prytulenko, A. (2020). International tourism and its impact on the socio-economic development of Ukraine. *Efektivna Ekonomika*, 11. doi: <http://doi.org/10.32702/2307-2105-2020.11.83>
2. Liburd, D. J.; Liburd, D. J., Edwards, D. D. (Eds.) (2018). *Understanding Collaboration and Sustainable Tourism Development. Collaboration for Sustainable Tourism Development*. Oxford: Goodfellow Publishers. doi: <http://doi.org/10.23912/9781911635000-3912>

3. Tüzün, I. K., Ergül, M., Johnson, C. (Eds.) (2019). *Sustainable Tourism Practices in the Mediterranean*. Routledge. doi: <http://doi.org/10.4324/9781315104911>
4. Mykhailichenko, H. I. (2013). Metodolohichni osnovy otsiniuvannya innovatsiinoho potentsialu turystychnoho pidpriemstva. *Ekonomichnyi chasopys*, 1-2, 80–83.
5. Wei, C., Wang, Q., Liu, C. (2021). Application of an artificial neural network optimization model in e-commerce platform based on tourism management. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 1. doi: <http://doi.org/10.1186/s13638-021-01947-x>
6. Zhang, P., Cao, K. (2022). Analysis of the Impact of Household Tourism Consumption Based on Multilevel Structural Equation Model. *Mobile Information Systems*, 2022, 1–12. doi: <http://doi.org/10.1155/2022/7141837>
7. Kosova, R., Slinaj, V. (2021). Mathematical Modeling of Tourism Development. An Application to Albanian Tourism. *Journal Of Environmental Management And Tourism*, 12 (6), 1707–1715.
8. Khan, A., Bibi, S., Lorenzo, A., Lyu, J., Babar, Z. U. (2020). Tourism and Development in Developing Economies: A Policy Implication Perspective. *Sustainability*, 12 (4), 1618. doi: <http://doi.org/10.3390/su12041618>
9. Melnychenko, S. V. (2007). *Informatsiini tekhnologii v turizmi: teoriia, metodolohiia, praktyka*. Kyiv: Kyivskiy natsionalnyi torhovelno-ekonomichnyi universytet, 493.
10. Tkachenko, T. I. (2009). *Stalyi rozvytok turyzmu: teoriia, metodolohiia, realii biznesu*. Kyiv: Kyivskiy natsionalnyi torhovelno-ekonomichnyi universytet, 463.
11. Inchausti-Sintes, F. (2021). Modelling the economics of sustainable tourism. *Journal of Sustainable Tourism*, 1–14. doi: <http://doi.org/10.1080/09669582.2021.2002344>
12. Sanchez, G. (2013). *PLS Path Modeling with R. Trowchez Editions*. Berkeley. Available at: https://www.gastonsanchez.com/PLS_Path_Modeling_with_R.pdf
13. *Derzhavna statystyka Ukrainy. Holovne upravlinnia statystyky u Zakarpatskii oblasti*. Available at: <http://www.uz.ukrstat.gov.ua/>
14. Vinzi, V. E., Trinchera, L., Amato, S.; Esposito Vinzi, V., Chin, W., Henseler, J., Wang, H. (Eds.) (2010). *PLS Path Modeling: From Foundations to Recent Developments and Open Issues for Model Assessment and Improvement. Handbook of Partial Least Squares*. Springer Handbooks of Computational Statistics. Berlin, Heidelberg: Springer, 47–82. doi: http://doi.org/10.1007/978-3-540-32827-8_3

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.255962

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR CALCULATION OF INFORMATION PROTECTION FROM THE CLUSTERING COEFFICIENT AND INFORMATION FLOW IN SOCIAL NETWORKS

pages 31–37

Volodymyr Akhramovych, Doctor of Technical Sciences, Senior Research Fellow, Professor, Department of Information and Cyber Defense Systems, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine, e-mail: 12z@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6174-5300>

The object of research is the system of information protection of the social network. The article investigates the dynamic models of the information protection system in social networks taking into account the clustering coefficient, and also analyzes the stability of the protection system. In graph theory, the clustering factor is a measure of the degree to

which nodes in a graph tend to group together. The available data suggest that in most real networks, and in particular in social networks, nodes tend to form closely related groups with a relatively high density of connections. It is probability is greater than the average probability of a random connection between two nodes. There are two variants of this term: global and local. The global version was created for a general idea of network clustering, while the local one describes the nesting of individual nodes. There is a practical interest in studying the behavior of the system of protection of social networks from the value of the clustering factor.

Dynamic systems of information protection in social networks in the mathematical sense of this term are considered. A dynamic system is understood as any object or process for which the concept of state as a set of some quantities at a given moment of time is unambiguously defined and a given law is described that describes the change (evolution) of the initial state over time. This law allows the initial state to predict the future state of a dynamic system. It is called the law of evolution.

The study is based on the nonlinearity of the social network protection system. To solve the system of nonlinear equations used: the method of exceptions, the joint solution of the corresponding homogeneous characteristic equation. Since the differential of the protection function has a positive value in some data domains (the requirement of Lyapunov's theorem for this domain is not fulfilled), an additional study of the stability of the protection system within the operating parameters is required. Phase portraits of the data protection system in MatLab/Multisim are determined, which indicate the stability of the protection system in the operating range of parameters even at the maximum value of influences.

Keywords: dynamic models, information protection system, exception method, homogeneous characteristic equation, system stability.

References

1. Laptiev, O., Savchenko, V., Kotenko, A., Akhramovych, V., Samosyuk, V., Shuklin, G., Biehun, A. (2021). Method of Determining Trust and Protection of Personal Data in Social Networks. *International Journal of Communication Networks and Information Security*, 1, 15–21. doi: <http://doi.org/10.1109/atit54053.2021.9678599>
2. Fagiolo, G. (2007). Clustering in complex directed networks. *Physical Review E*, 76 (2). doi: <http://doi.org/10.1103/physreve.76.026107>
3. Kaiser, M. (2008). Mean clustering coefficients: the role of isolated nodes and leafs on clustering measures for small-world networks. *New Journal of Physics*, 10 (8), 083042. doi: <http://doi.org/10.1088/1367-2630/10/8/083042>
4. Akhramovych, V., Shuklin, G., Pepa, Y., Muzhanova, T., Zozulia, S. (2022). Devising a procedure to determine the level of informational space security in social networks considering interrelations among users. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (9 (115)), 63–74. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252135>
5. Savchenko, V., Akhramovych, V., Tushych, A., Sribna, I., Vlasov, I. (2020). Analysis of Social Network Parameters and the Likelihood of its Construction. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8 (2), 271–276. doi: <http://doi.org/10.30534/ijeter/2020/05822020>
6. Wang, Y., Ghumare, E., Vandenberghe, R., Dupont, P. (2017). Comparison of Different Generalizations of Clustering Coef-

cient and Local Efficiency for Weighted Undirected Graphs. *Neural Computation*, 29 (2), 313–331. doi: http://doi.org/10.1162/neco_a_00914

7. Gracheva, M., Iakobi, Y., Stepanenko, V., Luneva, Y. (1950). Communication Patterns in Task-Oriented Groups. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 22 (6), 725–730. doi: <http://doi.org/10.1121/1.1906679>
8. Yevin, I. A. (2010). Introduction to the theory of complex networks. *Computer Research and Modeling*, 2 (2), 121–141. doi: <http://doi.org/10.20537/2076-7633-2010-2-2-121-141>
9. Zharinov, I., Krylov, V. (2008). Constructing graphs with minimum average path length. *Bulletin of Izhevsk State Technical University*, 4, 164–169.
10. Pavlov, Y. L., Cheplyukova, I. A. (2019). On the asymptotics of degree structure of configuration graphs with bounded number of edges. *Discrete Mathematics and Applications*, 29 (4), 219–232. doi: <http://doi.org/10.1515/dma-2019-0020>
11. Mamedova, H., Agaev, F., Zeinalova, L. (2019). Using social media to personalize e-learning. *İnformasiya texnologiyaların problemləri*, 1, 27–34.
12. Starodubtsev, V. (2015). Personalization of the virtual educational environment. *Pedagogical Education in Russia*, 7, 24–29.
13. Pavlov, J. (2019). On the asymptotics of the cluster coefficient of a configuration graph with an unknown distribution of vertex degrees. *Information and its application*, 13 (3), 9–13. doi: <http://doi.org/10.14357/19922264190302>
14. Firsov, M. (2017). Benchmarking graph clustering algorithms for decision-making problems. *Basic research*, 12 (1), 138–142.
15. Mahmoudi, A., Yaakub, M. R., Bakar, A. A. (2019). The Relationship between Online Social Network Ties and User Attributes. *ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data*, 13 (3), 1–15. doi: <http://doi.org/10.1145/3314204>
16. Mahmoudi, A., Yaakub, M. R., Abu Bakar, A. (2018). New time-based model to identify the influential users in online social networks. *Data Technologies and Applications*, 52 (2), 278–290. doi: <http://doi.org/10.1108/dta-08-2017-0056>

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.254566

SIMULATION OF THE ELECTRICAL SIGNAL OF THE MUSCLES TO OBTAIN THE ELECTROMIOSIGNAL SPECTRUM

pages 38–43

Olha Yeroshenko, Assistant, Department of Electronic Computers; Postgraduate Student, Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine, e-mail: olha.yeroshenko@nure.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6221-7158>

Igor Prasol, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2537-7376>

The object of research is the process of skeletal muscle contraction under the influence of natural electrical impulses of the nervous system or under the conditions of external electrical stimulation. The subject of research is models that describe electrical processes in muscles during contraction. The work is aimed at building an analytical model of the skeletal muscle electrical signal, which makes it possible to calculate the spectral density of this signal for further analysis.

Research methods are methods of mathematical modeling, theory of random processes and signals, methods of spectral analysis, methods of mathematical analysis.

The model of the electrical signal of the muscle as the sum of random impulse signals corresponding to the signals of motor units is studied in the work. In this regard, a signal is analyzed, which, in contrast to the Gaussian process, is formed by summing a limited number of pulse signals. It is shown that the voltage distribution law of such a signal is expressed by the sum of Gaussian functions. In the course of the study, the structure of the electromyographic signal spectrum was obtained, presented as a sum of periodic pulses shifted in time relative to each other. The relationship between the statistical properties of a random phase difference and the type of signal power spectrum has been analytically established. The obtained theoretical relations make it possible to calculate the spectral density of the electromyographic signal depending on the number of motor units and various phase shifts between them, as well as depending on the chosen law of distribution of random variables. The results of a numerical experiment are presented for a different number of motor units and different ranges of time shifts in the case of a distribution of gauss of the probability density. The results obtained can be used in assessing the degree of dysfunction of skeletal muscles in various injuries (for example, in trauma, atrophy, etc.), as well as in choosing the optimal individual parameters of electrical stimulation during rehabilitation procedures or training processes for increasing muscle mass in athletes.

Keywords: skeletal muscle, motor unit, mathematical modeling of an electrical signal, spectral density, electromyographic signal, electrical stimulation.

References

1. Bernstein, V. M., Slavutsky, J. L., Farber, B. S. (1993). Myoelectric Control of the Muscle Electrostimulation. *Proceedings of Myo-Electric Control Symposium. Institute of Biomedical Engineering, UNB*, 79–80.
2. Gorgey, A. S., Mahoney, E., Kendall, T., Dudley, G. A. (2006). Effects of neuromuscular electrical stimulation parameters on specific tension. *European Journal of Applied Physiology*, 97 (6), 737–744. doi: <http://doi.org/10.1007/s00421-006-0232-7>
3. Datsok, O., Prasol, I., Yeroshenko, O. (2019). Construction of biotechnical system of muscular electrical stimulation. *Bulletin of the National Technical University «KhPI». A Series of «Information and Modeling»*, 13 (1338), 165–175. doi: <http://doi.org/10.20998/2411-0558.2019.13.15>
4. Yeroshenko, O., Prasol, I., Datsok, O. (2021). Simulation of an electromyographic signal converter for adaptive electrical stimulation tasks. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 1 (15), 113–119. doi: <http://doi.org/10.30837/itssi.2021.15.113>
5. Kositckogo, G. I. (1985). *Fiziologiya cheloveka*. Meditsina, 544.
6. Azman, M. F., Azman, A. W. (2017). The Effect of Electrical Stimulation in Improving Muscle Tone (Clinical). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 260, 012020. doi: <http://doi.org/10.1088/1757-899x/260/1/012020>
7. Himori, K., Tatebayashi, D., Kanzaki, K., Wada, M., Westblad, H., Lanner, J. T., Yamada, T. (2017). Neuromuscular electrical stimulation prevents skeletal muscle dysfunction in adjuvant-induced arthritis rat. *PLOS ONE*, 12 (6), e0179925. doi: <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0179925>
8. Bernstein, V. M., Farber, B. S. (1993). Involvement of Noise Immunity Systems of Myoelectric Control of Prostheses.

Proceedings of Myo-Electrlc Control Symposium. Fredericton: UNB, 42–43.

9. Gobbo, M., Maffiuletti, N. A., Orizio, C., Minetto, M. A. (2014). Muscle motor point identification is essential for optimizing neuromuscular electrical stimulation use. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 11 (1). doi: <http://doi.org/10.1186/1743-0003-11-17>
10. Bekhet, A. H., Bochekezanian, V., Saab, I. M., Gorgey, A. S. (2019). The Effects of Electrical Stimulation Parameters in Managing Spasticity After Spinal Cord Injury. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 98 (6), 484–499. doi: <http://doi.org/10.1097/phm.0000000000001064>
11. Fedorchenko, V., Prasol, I., Yeroshenko, O. (2021). Information Technology For Identification Of Electric Stimulating Effects Parameters. *Information Security and Information Technologies*, 200–204.
12. Rangaiian, R. M.; Nemirko, A. P. (Ed.) (2007). *Analiz biome-dicinskih signalov. Prakticheskiy podkhod*. FIZMATLIT, 440.
13. Shayduk, A. M., Ostanin, S. A. (2010). Modeling Electromiographic Signal by the Means of LabVIEW. *Izvestia Altaiskogo gosudarstvennogo universiteta*, 1 (65), 195–201.
14. Shaiduk, A. M., Ostanin, S. A. (2011). Vliianie fazovogo sdviga impulsov dvigatelnykh edinitc na strukturu spektra elektromi-signala. *Zhurnal radioelektroniki*, 6, 1–9.
15. Tikhonov, V. I., Kharisov, V. N. (2004). *Statisticheskii analiz i sintez radiotekhnicheskikh ustroysto i sistem*. Radio i sviaz, 608.

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.256538

COST ESTIMATION OF PHOTOPOLYMER RESIN FOR 3D EXPOSURE OF CIRCUIT BOARDS

pages 43–49

Igor Nevludov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9837-2309>

Ievgenii Razumov-Fryziuk, PhD, Associate Professor, Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7426-3805>

Vladyslav Yevsieiev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2590-7085>

Dmytro Nikitin, Postgraduate Student, Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, Ukraine, e-mail: dmytro.nikitin@nure.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5591-4438>

Danylo Blyzniuk, Postgraduate Student, Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3041-1885>

Roman Strelets, Postgraduate Student, Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5123-8703>

The research object in the work is the printed circuit boards (PCB) production technological process using the additive technology of photopolymer 3D printing. The existing problem is that the manufacturing process of single-sided and double-sided PCBs, simple in technology, from the third to the fifth accuracy class, requires the use of a large amount of consumables and technological equipment. In turn, this affects the cost of the product. The research subject is models and methods for manufacturing PCB using photopolymer 3D printing.

In order to reduce the cost of materials: film or aerosol photoresist, as well as reduce the number of technological operations, applying photoresist and for the manufacture of PCBs stencils, it is proposed to use photopolymer 3D printing technologies for the manufacture of PCBs. The paper analyzes the costs of Plexiwire Resin Basic Orange Transparent photopolymer resin for the manufacture of single-sided PCBs and calculates the cost of the consumable (resin) compared to the costs of dry film photoresist. 60 % cost of consumables (photopolymer resin) compared to dry film photoresist for making single-sided PCBs. The work is aimed at determining the dependence of the geometric dimensions of the PCBs topology and the consumption of photopolymer resin on the technological parameters of photopolymer exposure. A regression correlation model of the dependence of resin consumption on exposure parameters has been developed and correlation coefficients have been calculated. It has been established that with an increase in the exposure time of the photopolymer resin, the consumption of the photopolymer resin increases and the deviation of the geometric dimensions of the PCBs topology increases, which in turn negatively affects the quality of the product. Therefore, using the obtained regression model, it is possible to calculate the influence of parameters on the PCB topology and reduce the deviation of conductor sizes and resin consumption.

Keywords: circuit boards, photolithography, photopolymer exposure, additive technology, DLP, LCD, photo masks.

References

1. Martinelli, A., Mina, A., Moggi, M. (2021). The enabling technologies of industry 4.0: examining the seeds of the fourth industrial revolution. *Industrial and Corporate Change*, 30 (1), 161–188. doi: <http://doi.org/10.1093/icc/dtaa060>
2. Carvalho, N., Chaim, O., Cazarini, E., Gerolamo, M. (2018). Manufacturing in the fourth industrial revolution: A positive prospect in Sustainable Manufacturing. *Procedia Manufacturing*, 21, 671–678. doi: <http://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.170>
3. Fakhar Manesh, M., Pellegrini, M. M., Marzi, G., Dabic, M. (2021). Knowledge Management in the Fourth Industrial Revolution: Mapping the Literature and Scoping Future Avenues. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 68 (1), 289–300. doi: <http://doi.org/10.1109/tem.2019.2963489>
4. Andronie, M., Lăzăroiu, G., Iatagan, M., Hurloiu, I., Dijmărescu, I. (2021). Sustainable Cyber-Physical Production Systems in Big Data-Driven Smart Urban Economy: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 13 (2), 751. doi: <http://doi.org/10.3390/su13020751>
5. Nevludov, I., Yevsieiev, V., Baker, J. H., Ahmad, M. A., Lyashenko, V. (2021). Development of a cyber design modeling declarative Language for cyber physical production systems. *Journal of Mathematical and Computational Science*, 11 (1), 520–542. doi: <http://doi.org/10.28919/jmcs/5152>

6. Lins, T., Oliveira, R. A. R. (2020). Cyber-physical production systems retrofitting in context of industry 4.0. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 106193. doi: <http://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106193>
7. *Jabil Circuit Ukraine*. Uzhgorod. Available at: <https://www.jabil.com/contact/locations/uzhgorod.html>
8. Hao, J., Wang, Y., Wu, Y., Guo, F. (2020). Metal recovery from waste printed circuit boards: A review for current status and perspectives. *Resources, Conservation and Recycling*, 157, 104787. doi: <http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104787>
9. Pietrelli, L., Ferro, S., Vociante, M. (2019). Eco-friendly and cost-effective strategies for metals recovery from printed circuit boards. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112, 317–323. doi: <http://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.055>
10. Liu, X., Fiedler, H., Gong, W., Wang, B., Yu, G. (2018). Potential sources of unintentionally produced PCB, HCB, and PeCBz in China: A preliminary overview. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 12 (6). doi: <http://doi.org/10.1007/s11783-018-1036-9>
11. Zelentsov, S. V., Zelentsova, N. V. (2006). *Modern photolithography. New materials for electronics and optoelectronics for information and telecommunication systems*. Nizhny Novgorod, 56.
12. Nevlyudov, I., Nikitin, D., Bliznyuk, D., Gurin, D., Razumov-Frilyuk, E., Sagittarius, E. (2020). Production of printed circuit boards using 3D printing technologies. *Collection of scientific works of the National University of Shipbuilding named after Admiral Makarov*, 4 (482).
13. Nevlyudov, I., Nikitin, D., Bliznyuk, D., Gurin, D., Razumov-Frilyuk, E., Sagittarius, E. (2021). Creation of PCB layout using photopolymer additive technologies of 3D printing. *Problems of friction and wear*, 1 (90), 42–54.
14. Jacobsen, A., Jorgensen, T., Tafjord, Ø., Kirkhorn, E. (2015). Concepts for 3D print productivity systems with advanced DLP photoheads. *Emerging Digital Micromirror Device Based Systems and Applications VII*. doi: <http://doi.org/10.1117/12.2084962>
15. Redwood, B., Garrat, B., Chauffeur, P. (2020). *3D printing. A Practical Guide*. Moscow: DMK-Press, 220.
16. *Anycubic 405nm UV*. Available at: <https://3dreams.com.ua/product/фотополимерная-смола-anycubic-405nm-uv-resin/>
17. *Plexiwire Resin Basic Orange Transparen*. Available at: <https://shop.plexiwire.com.ua/ru/basic-resin/resin-orange-transparent-500/>
18. *MonoFilament Basic*. Available at: <https://monofilament.com.ua/ua/products/fotopolimernie-smoli-dlya-3d-printera/resin-basic/>
19. *FunToDo*. Available at: <https://www.funtodo.net>
20. *Wanhao Castable*. Available at: <https://wanhao.store/products/wanhao-castable-resin-for-jewelry-green-color-1000ml-bottle>
21. *BlueCast CR3A*. Available at: <https://www.uvelinmag.com/3d-printery-i-polimery/bluecast-cr3a-for-lcddlp-3dp/>
22. *Elegoo 3D*. Available at: <https://www.elegoo.com/collections/resin>
23. *Weistek*. Available at: <https://www.amazon.com/Standard-UV-Curing-Precision-Photopolymer-Printing/dp/B08L6P5PNK>
24. *Tevo*. Available at: <https://3ddevice.com.ua/product/smola-dlia-3d-printera-nextdent-base/>
25. Salcedo, J., McCormick, K. (2020). *SPSS Statis for Dummies*. John&Sons. Inc., 444.
26. Reddy, M. V. (2019). *Statistical Methods in Psychiatry Research and SPSS*. Apple Academic Press, 442. doi: <http://doi.org/10.1201/9780429023309>

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.256560

STUDY OF THE RADIATION PATTERN OF A RECTANGULAR HORN ANTENNA IN THE OPERATION OF MULTIMODE PROPAGATION OF ELECTROMAGNETIC WAVES

pages 50–55

Andriy Semenov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: semenov.a.o@vntu.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9580-6602>

Olena Semenova, PhD, Associate Professor, Department of Infocommunication Systems and Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5312-9148>

Bogdan Pinaiev, Postgraduate Student, Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9592-0640>

Dmytro Kozin, Postgraduate Student, Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2987-1726>

Oleksandr Shpylovyi, Postgraduate Student, Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7094-6542>

The object of research in the work is the process of radiation of electromagnetic waves and the directional properties of a rectangular horn antenna in a multimode operation. The existing problem is that in practice when developing and researching horn antennas, only the single-mode mode of their operation is taken into account. The fundamental mode of the rectangular waveguide that feeds this horn antenna is chosen as the base mode of the emitted electromagnetic wave. Radiation of higher types of electromagnetic waves is not taken into account.

To take into account the impact of higher types of electromagnetic waves on the directional properties of a rectangular horn antenna, it is proposed to investigate a multimode mode consisting of three types of magnetic waves H_{10} , H_{20} , and H_{30} . Horn antennas have high-quality wide-range properties and make it possible to obtain a maximum frequency coverage ratio of 1.5–1.8. In this paper, the directional properties of a rectangular horn antenna are determined by the example of calculating and modeling normalized radiation patterns of a standard horn-type for a wide frequency range with an average frequency of 12 GHz and a frequency overlap factor of 1.67.

It has been established that when emitting three higher types of waves, it is possible to simultaneously improve the characteristics and directional properties of a horn antenna by changing the amplitude of each component of the constituent waves of electromagnetic radiation. The work aimed to study the normalized radiation patterns of a rectangular horn antenna to improve its directional properties. It was found that with increasing frequency, starting from

the middle frequency of the operating frequency range, the radiation pattern of a rectangular horn antenna expanded. That is, the opening angle increased in the direction of the main radiation, with a decrease in the radiation amplitude, the level of the side and rear lobes increased, which leads to a deterioration in the characteristics of the horn antenna. For the selected geometric dimensions of the horn antenna in the frequency range of 12–12.5 GHz in the multimode mode, it was possible to provide almost the same beam width in the horizontal and vertical planes at the level of 13.2–13.6°.

Keywords: horn antenna, rectangular horn, frequency range, electromagnetic wave, multimode, single-mode.

References

- Lee, J. N., Cho, Y. K., Jung, J. H., Hyun, S. B. (2020). High-gain sub-terahertz lens horn antenna with a metal guide. *Electronics Letters*, *56* (14), 689–691. doi: <http://doi.org/10.1049/el.2020.0860>
- Wang, J., Lin, H., Yang, F., Xu, G., Ge, J. (2022). Design of 94GHz Dual-Polarization Antenna Fed by Diagonal Horn for Cloud Radars. *IEEE Access*, *10*, 22480–22486. doi: <http://doi.org/10.1109/access.2022.3154483>
- He, Y., Zhao, X., Zhao, L., Fan, Z., Wang, J.-K., Zhang, L. et al. (2021). Design of Broadband Double-Ridge Horn Antenna for Millimeter-Wave Applications. *IEEE Access*, *9*, 118919–118926. doi: <http://doi.org/10.1109/access.2021.3107914>
- Huang, S., Chan, K. Y., Wang, Y., Ramer, R. (2021). High Gain SIW H-Plane Horn Antenna with 3D Printed Parasitic E-Plane Horn. *Electronics*, *10* (19), 2391. doi: <http://doi.org/10.3390/electronics10192391>
- Wang, P., Wu, Q., He, R.-B., Luo, W. (2019). Gain and Radiation Pattern Enhancement of the H-Plane Horn Antenna Using a Tapered Dielectric Lens. *IEEE Access*, *7*, 69101–69107. doi: <http://doi.org/10.1109/access.2019.2915934>
- Chang, C., Zhu, X., Liu, G., Fang, J., Xiao, R., Chen, C. et al. (2010). Design and experiments of the gw high-power microwave feed horn. *Progress In Electromagnetics Research*, *101*, 157–171. doi: <http://doi.org/10.2528/pier10010202>
- Jacobs, B., Odendaal, J. W., Joubert, J. (2012). An Improved Design for a 1–18 GHz Double-Ridged Guide Horn Antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, *60* (9), 4110–4118. doi: <http://doi.org/10.1109/tap.2012.2207043>
- Wang, J., Yao, Y., Yu, J., Chen, X. (2019). Broadband compact smooth horn with flat-top radiation pattern. *Electronics Letters*, *55* (3), 119–120. doi: <http://doi.org/10.1049/el.2018.7541>
- Teber, A. (2020). Beamforming Radiation Properties of Absorbing/Transparent Zones-Added Horn Antenna. *Gazi University Journal of Science*, *33* (2), 355–363. doi: <http://doi.org/10.35378/gujs.602204>
- Tomaz, A., Barroso, J. J., Hasar, U. C. (2015). Side Lobe Reduction in an X-Band Horn Antenna Loaded by a Wire Medium. *Journal of Aerospace Technology and Management*, *7* (3), 307–313. doi: <http://doi.org/10.5028/jatm.v7i3.468>
- Kasahara, Y., Kasaba, Y., Kojima, H., Yagitani, S., Ishisaka, K., Kumamoto, A. et al. (2018). The Plasma Wave Experiment (PWE) on board the Arase (ERG) satellite. *Earth, Planets and Space*, *70* (1). doi: <http://doi.org/10.1186/s40623-018-0842-4>
- Soltane, A., Andrieu, G., Perrin, E., Decroze, C., Reineix, A. (2020). Antenna Radiation Pattern Measurement in a Reverberating Enclosure Using the Time-Gating Technique. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, *19* (1), 183–187. doi: <http://doi.org/10.1109/lawp.2019.2957428>
- Delgado, H. J., Thursby, M. H. (1999). Implementation of the pyramidal-horn antenna radiation-pattern equations using Mathcad(R). *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, *41* (5), 96–99. doi: <http://doi.org/10.1109/74.801520>
- Semenov, A., Havrilov, D., Volovyk, A., Stalchenko, O., Kuliash, R., Ilchuk, D. (2021). Single-Mode and Multimode Operation of the Rectangular Waveguide with a Spherical Ferrite Probe. *2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*. doi: <http://doi.org/10.1109/ukrcon53503.2021.9575750>
- Piltyay, S., Bulashenko, A., Herhil, Y., Bulashenko, O. (2020). FDTD and FEM Simulation of Microwave Waveguide Polarizers. *2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*. doi: <http://doi.org/10.1109/atit50783.2020.9349339>
- Piltyay, S. I., Bulashenko, A. V., Bykovskiy, O. V., Bulashenko, O. V. (2022). Estimation of fem and ftd methods for simulation of electromagnetic characteristics of polarization transforming devices with diaphragms. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, *4*, 34–48. doi: <http://doi.org/10.15588/1607-3274-2021-4-4>

**INFORMATION TECHNOLOGIES**

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.255334

ПРОЄКТУВАННЯ ІОТ-РІШЕННЯ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТА АНАЛІЗУ СИСТЕМИ СМІТТЕЗБЕРІГАННЯ ТВЕРДИХ ВІДХОДІВ сторінки 6–10**Твардовський В. Г., Кравченко О. В., Бессідина С. В.**

Об'єктом дослідження є процес моніторингу наповненості смітєвих баків сортового сміття за допомогою автоматизованої системи на основі ІоТ рішення. В роботі проведено аналіз існуючих ІоТ рішень для контролю та моніторингу рівня наповненості ємностей для твердих відходів. Дослідження є важливим у світлі проблематики сортування, зберігання та переробки сміття. Запропоновано модель ІоТ рішення для моніторингу та аналізу системи смітєзберігання твердих відходів. Проєкт ІоТ рішення передбачає створення програмної та апаратної частини для автоматизованої системи. Взаємодія апаратного та програмного забезпечення та імплементована коренева частина проєкту забезпечують можливість виконати основну задачу – отримати оцінку рівня заповненості ємності для твердих відходів. Апаратне забезпечення реалізовано за допомогою пристрою для аналізу наповненості смітєвих контейнерів. Передбачена можливість передачі даних про стан наповненості контейнера. Враховується положення кришки або ж самого контейнера для випадків, коли контейнер буде перевернутий або ж кришка контейнера буде піднята. Сам пристрій буде розташований на кришці із внутрішньої сторони контейнера. Також пристрій оснащений можливістю перевірки контейнера на предмет підпалу для запобігання потенційних нещасних випадків та виходу в атмосферу шкідливих відходів. Програмна реалізація містить рівень програмування задач для датчиків ІоТ рішення та створення дружнього веб-орієнтованого інтерфейсу. Програмна реалізація виконана на основі клієнт-серверної архітектури. Для проєктування кінцевих точок взаємодії локального та проміжного серверів використано архітектурний стиль REST з передачею інформації у вигляді JSON. Для можливості адміністрування проміжного серверу клієнтська частина написана на HTML та JavaScript. Застосування ІоТ рішення дозволяє контролювати рівень заповнення контейнерів, оптимізувати маршрути виїздів смітєвозів, що, в свою чергу, знижує собівартість вивезення відходів для регіональних операторів. Побудовано схему обміну інформацією в системі смітєзберігання твердих відходів.

Ключові слова: клієнт-серверна архітектура, проєктування системи, моніторинг наповнення смітєвих баків, апаратне забезпечення, схема обміну інформації.

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.255861

ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ АНАЛІЗУ ВІДТОКУ КЛІЄНТІВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ КОМПАНІЇ сторінки 11–15**Папа А. А., Шемет Е. О., Яровий А. А., Ваховська Л. М.**

Об'єктом дослідження є процес аналізу відтоку клієнтів телекомунікаційних компаній на основі методів машинного навчання. Існуюча проблема полягає в тому, що до недавнього часу процес відтоку клієнтів компенсувався за рахунок залучення нових клієнтів, але в сучасному світі темпи зростання постійно прискорюються, ринок заповнений великою кількістю конкурентів, що призводить до постійного підвищення вимог клієнтів до продукції та послуг. У зв'язку з цим стає більш затратним і трудомістким процес залучення нових клієнтів, що у свою чергу посилює значущість утримання вже існуючої клієнтської бази.

В роботі розглянуто проблемні аспекти, пов'язані із підвищенням точності прогнозування відтоку клієнтів компанії за допомогою використання методів машинного навчання. Проведені дослідження базуються на застосуванні підходу, який реалізується за допомогою комбінування методів дерев рішень та найближчих сусідів. Позитивного результату неможливо досягти ігноруючи існуючі ресурсні обмеження та вимоги, які потрібно визначати окремо для кожного випадку дослідження.

Розглянуто перспективність проблематики прогнозування відтоку клієнтів для компанії із великою кількістю користувачів. Запропоновано модель прогнозування відтоку клієнтів на основі комбінування дерев рішень та методу найближчих сусідів, що використовується в основі методу беггінгу. Однією із особливостей такого підходу є використання тестової вибірки нормалізованих даних. Відповідно, системи можуть використовувати заздалегідь відому інформацію, навчатися, здобувати нові знання, прогнозувати часові ряди, виконувати класифікацію, і крім цього, вони є цілком наочними для користувача. Перспективність вибору даних методів пояснюється тим, що вони раніше використовувалися в системах аналізу даних та забезпечили досить якісні результати.

Показано доцільність та перспективність застосування запропонованого підходу в задачі прогнозування відтоку клієнтів телекомунікаційних компаній, а також наведено особливості проєктування інформаційної технології та результати програмної реалізації.

Ключові слова: машинне навчання, дерево рішень, метод найближчих сусідів, беггінг, аналіз даних.

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.255957

АГРЕГАЦІЯ БАГАТОВИМІРНИХ ДАНИХ ДЛЯ ПРОЦЕСУ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ УПРАВЛІННІ МІКРОМЕРЕЖАМИ З ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ сторінки 16–20**Шендрик В. В., Парфененко Ю. В., Бойко О. В., Шендрик С. О., Белка Я. С.**

Об'єктом дослідження є процес обробки та збереження даних при прийнятті рішень щодо управління життєвим циклом вироблення та споживання електроенергії у мікромережах з відновлювальними джерелами енергії. Перспективність дослідження зумовлена тим, що для забезпечення повноцінного процесу підтримки прийняття рішень при управлінні мікромережами з відновлювальними джерелами енергії доводиться консолідувати та маніпулювати багатовимірними даними у режимі багатопоточності та оперативної обробки інформації. Для вирішення поставленої задачі було використано теоретичні методи аналізу, абстракції, індукції та дедукції. Для забезпечення багатовимірності та багатопоточності обробки даних запропоновано розробити сховище даних на основі моделі даних «сніжинка». Оперативність обробки інформації у режимі реального часу забезпечує оперативна база даних, побудована за принципом OLTP. Організація спільної роботи сховища даних з оперативною базою даних, консолідація та маніпулювання даними забезпечується тригерами.

Результатом роботи є сховище даних, яке буде використовуватися в системі підтримки прийняття рішень при управлінні енергетичними мікромережами, що дозволить підвищити ефективність обробки і збереження даних. Це досягається завдяки поєднанню

роботи централізованого сховища даних з оперативною базою даних, а також використання окремої вітрини даних для кожного користувача системи. Практичне значення роботи полягає у тому, що сховище даних стане частиною системи підтримки прийняття рішень для обробки інформації про життєвий цикл енергії при управлінні енергетичною інфраструктурою. У порівнянні з використанням єдиної бази даних для системи підтримки прийняття рішень такий підхід забезпечує швидкодію роботи з даними та дозволяє розмежувати використання сховища даних для аналітики та виконання операцій маніпулювання даними.

Розгортання сховища даних виконано у хмарному середовищі на платформі Amazon Web Services (AWS) та веб-сервісі Amazon Relational Database Service (Amazon RDS). Безпечний доступ до клієнтських даних реалізовано за допомогою вітрини даних.

Ключові слова: обробка та збереження даних, сховище даних, база даних, вітрина даних, тригери.

SYSTEMS AND CONTROL PROCESSES

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.254273

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗВИТКУ ТУРИЗМУ У ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАДАХ сторінки 21–30

Бігун Р. Р., Литвин В. В., Олексів Н. Т.

В даній роботі розглянуто проблеми розвитку об'єднаних територіальних громад в туристичному напрямі економічного розвитку. Об'єктом дослідження є благоустрій територіальних громад на прикладі України. Одним з найбільш проблемних місць є відсутність коштів для розбудови існуючих великих туристичних комплексів та для створення нових.

В ході дослідження використовується ідея того, що розвиток туризму має прямий стимулюючий вплив на розвиток ряду важливих економічних секторів. Також розглядається використання математичного апарату, який дозволяє проводити аналіз основних факторів впливу на розвиток туристичної галузі територіальних громад. Комплексне вирішення економічних, соціальних та екологічних питань сталого розвитку туризму неможливо без розробки математичних моделей та підтримуючих інструментальних засобів, що дозволяють прогнозувати основні показники системи сталого розвитку туризму. У роботі розглядається PLS-PM моделювання з використанням таких критеріїв внутрішньої узгодженості, як: коефіцієнт Альфа Кронбаха, коефіцієнт р Діллона-Гольдштейна, надійність моделі, середня дисперсія. Метою PLS-PM моделі є отримання оцінок латентних змінних для подальших процедур прогнозування розвитку системи. Процеси, що протікають у туристичній галузі, характеризуються складною взаємодією економічних, екологічних і соціальних факторів. Їх вплив необхідно враховувати для реалізації стратегії сталого розвитку туризму. Також проведено аналіз моделі за допомогою єдиного коефіцієнта якості відповідності моделі даних, який характеризує якість внутрішньої та зовнішньої моделі системи.

Завдяки переліченим інструментам формується твердження, що регулювання ключових факторів туристичної ланки економічного сектору може позитивно вплинути на розвиток національної культури та економіки в об'єднаних територіальних громадах. Створена математична модель чітко формує висновок про те, що розвиток туризму в місцевих громадах може стати рушієм їх сталого економічного розвитку, зважаючи на доступні регіональні умови.

Ключові слова: об'єднана територіальна громада, математична модель туристичного комплексу, методика PLS-PM, сталий розвиток.

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.255962

РОЗРОБКА МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ ВІД КОЕФІЦІЕНТА КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ТА ПОТОКУ ІНФОРМАЦІЇ У СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ сторінки 31–37

Ахрамович В. М.

Об'єктом дослідження є система захисту інформації соціальної мережі. У роботі досліджуються динамічні моделі системи захисту інформації в соціальних мережах з урахуванням коефіцієнта кластеризації, а також аналізується стабільність системи захисту. У теорії графів коефіцієнт кластеризації є мірою того, як вузли в графі мають тенденцію до групування. Наявні дані свідчать про те, що в більшості реальних мереж, і зокрема в соціальних мережах, вузли, як правило, утворюють тісно пов'язані групи з відносно високою щільністю зв'язків. Ця ймовірність більша, ніж середня ймовірність випадкового з'єднання між двома вузлами. Існує два варіанти цього терміна: глобальний і локальний. Глобальна версія створена для загальної ідеї кластеризації мережі, а локальна описує вкладення окремих вузлів. Існує практичний інтерес у вивченні поведінки системи захисту соціальних мереж від значення фактора кластеризації.

Розглянуто динамічні системи захисту інформації в соціальних мережах у математичному розумінні цього терміна. Під динамічною системою розуміють будь-який об'єкт або процес, для якого поняття стану як сукупності деяких величин у даний момент часу однозначно визначено та описано заданий закон, що описує зміну (еволюцію) початкового стану в часі. Цей закон дозволяє початковому стану передбачити майбутній стан динамічної системи. Його називають законом еволюції.

Дослідження базується на нелінійності системи захисту соціальних мереж. Для розв'язування системи нелінійних рівнянь використовуються: метод винятків, спільний розв'язок відповідного однорідного характеристичного рівняння. Оскільки в деяких областях даних диференціал функції захисту має додатне значення (вимога теореми Ляпунова для цієї області не виконується), необхідне додаткове дослідження стійкості системи захисту в межах робочих параметрів. Визначено фазові портрети системи захисту даних у MatLab/Multisim, які свідчать про стабільність системи захисту в робочому діапазоні параметрів, навіть при максимальному значенні впливів.

Ключові слова: динамічні моделі, система захисту інформації, метод винятків, однорідне характеристичне рівняння, стійкість системи.

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.254566

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО СИГНАЛУ М'ЯЗІВ ДЛЯ ОТРИМАННЯ СПЕКТРА ЕЛЕКТРОМІОСИГНАЛУ сторінки 38–43

Ерошенко О. А., Прасол І. В.

Об'єктом дослідження є процес скорочення скелетного м'яза під впливом природних електричних імпульсів нервової системи або за умовами зовнішньої електростимуляції. Предмет дослідження – моделі, що описують електричні процеси у м'язах під час

скорочення. Робота направлена на побудову аналітичної моделі електричного сигналу скелетного м'яза, що дає можливість розраховувати спектральну щільність цього сигналу для подальшого аналізу.

Методи дослідження – методи математичного моделювання, теорія випадкових процесів та сигналів, методи спектрального аналізу, методи математичного аналізу.

В роботі досліджено модель електричного сигналу м'яза як сума імпульсних випадкових сигналів, відповідних сигналам рухових одиниць. У зв'язку з цим аналізується сигнал, який, на відміну від гаусівського процесу, утворено підсумовуванням обмеженої кількості імпульсних сигналів. Показано, що закон розподілу напруги такого сигналу виражається сумою функцій Гауса. В ході дослідження отримано структуру спектра електроміографічного сигналу, який представлено у вигляді суми зміщених за часом відносно один одного періодичних імпульсів. Аналітично встановлено зв'язок між статистичними властивостями випадкової різниці фаз та видом спектра потужності сигналу. Теоретичні співвідношення, що отримані, дозволяють розрахувати спектральну щільність електроміографічного сигналу в залежності від кількості рухових одиниць та різних фазових зрушень між ними, а також залежно від обраного закону розподілу випадкових величин. Наведено результати чисельного експерименту для різного числа рухових одиниць та різних діапазонів часових зрушень у разі гаусівського розподілу щільності ймовірності. Отримані результати можуть бути використані при оцінці ступеня порушення функціонування скелетних м'язів при різних ушкодженнях (наприклад, при травмах, атрофії та ін.), а також у разі вибору оптимальних індивідуальних параметрів електростимуляції під час реабілітаційних процедур або тренувальних процесів нарощування м'язової маси у спортсменів.

Ключові слова: скелетний м'яз, рухова одиниця, математичне моделювання електричного сигналу, спектральна щільність, електроміографічний сигнал, електростимуляція.

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.256538

ОЦІНКА ВИТРАТ ФОТОПОЛІМЕРНОЇ СМОЛИ ПРИ 3D ЕКСПОНУВАННІ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ сторінки 43–49

Невлюдов І. Ш., Разумов-Фризюк Є. А., Євсєєв В. В., Нікітін Д. О., Близнюк Д. С., Стрілець Р. Є.

Об'єктом дослідження у роботі є технологічний процес виготовлення друківаних плат (ДП) за допомогою адитивних технологій фотополімерного 3D друку. Існуюча проблема полягає в тому, що процес виготовлення простих за технологією односторонніх та двосторонніх ДП, з третього по п'ятий клас точності, вимагає застосування великої кількості витратних матеріалів та технологічного обладнання. Це, у свою чергу, суттєво впливає на собівартість готового виробу. Предметом дослідження є моделі та методи виготовлення ДП за допомогою фотополімерного 3D друку.

З метою зменшення витрат на матеріали, а також зменшення кількості технологічних операцій з виготовлення трафаретів ДП та нанесення фоторезиста, пропонується використовувати технології фотополімерного 3D друку. В роботі проаналізовані витрати фотополімерної смоли «Plexiwire Resin Basic Orange Transparen» для виготовлення односторонніх ДП та розрахована ціна витратного матеріалу (смоли) у порівнянні з витратами на сухий плівковий фоторезист. Встановлено, що при використанні технології фотополімерного 3D-друку можливо заощаджувати більш ніж 60 % від вартості витратних матеріалів (фотополімерної смоли) у порівнянні з сухим плівковим фоторезистом для виготовлення односторонніх ДП. Робота направлена на визначення залежності геометричних розмірів топології ДП та витрат фотополімерної смоли від технологічних параметрів фотополімерного експонування. Розроблена регресійна кореляційна модель залежності витрат смоли від параметрів експонування та розраховані коефіцієнти кореляції. Встановлено, що при збільшенні часу експонування фотополімерної смоли збільшуються витрати фотополімерної смоли та збільшується відхилення геометричних розмірів топології ДП, що в свою чергу негативно впливає на якість виробу. Тому за допомогою отриманої регресійної моделі можливо розрахувати вплив параметрів на топологію ДП та зменшити відхилення розмірів провідників та витрат смоли.

Ключові слова: друківані плати, фотолітографія, фотополімерне експонування, адитивні технології, DLP, LCD, фото-маски.

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.256560

ДОСЛІДЖЕННЯ ДІАГРАМИ СПРЯМОВАНІСТІ ПРЯМОКУТНОЇ РУПОРНОЇ АНТЕНИ В РЕЖИМІ БАГАТОМОДОВОГО ПОШИРЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ сторінки 50–55

Семенов А. О., Семенова О. О., Пінаєв Б. О., Козін Д. О., Шпильовий О. О.

Об'єктом дослідження у роботі є процес випромінювання електромагнітних хвиль і спрямовані властивості прямокутної рупорної антени в багатомодовому режимі роботи. Існуюча проблема полягає в тому, що на практиці при розробці та дослідженні рупорних антен враховують лише одномодовий режим їх роботи. За базову моду випромінюваної електромагнітної хвилі обирають основну моду прямокутного хвилеводу, який живить цю рупорну антену. Випромінювання вищих типів електромагнітних хвиль не враховують.

Для врахування впливу вищих типів електромагнітних хвиль на спрямовані властивості прямокутної рупорної антени пропонується дослідити багатомодовий режим, що складається з трьох типів магнітних хвиль H_{10} , H_{20} і H_{30} . Рупорні антени володіють якісними широкодіапазонними властивостями та дозволяють отримати максимальний коефіцієнт перекриття по частоті 1,5–1,8. В роботі спрямовані властивості прямокутної рупорної антени визначено на прикладі розрахунку та моделювання нормованих діаграм спрямованості стандартного типу рупора для широкого діапазону частот із середньою частотою 12 ГГц і коефіцієнтом перекриття по частоті 1,67.

Встановлено, що при випромінюванні трьох вищих типів хвиль одночасно покращити характеристики та спрямовані властивості рупорної антени можна за допомогою зміни амплітуди кожної компоненти складових хвиль електромагнітного випромінювання. Робота була направлена на дослідження нормованих діаграм спрямованості прямокутної рупорної антени для покращання її спрямованих властивостей. Встановлено, що при збільшенні частоти, починаючи від середньої частоти робочого діапазону частот, діаграма спрямованості прямокутної рупорної антени розширювалась. Тобто збільшувався кут розкриття в напрямку основного випромінювання, при зменшенні амплітуди випромінювання зростає рівень бокових та задніх пелюсток, що призводить до погіршення характеристик рупорної антени. Для обраних геометричних розмірів рупорної антени в діапазоні частот 12–12,5 ГГц у багатомодовому режимі вдалося забезпечити практично однакову ширину діаграми спрямованості в горизонтальній та вертикальній площинах на рівні 13,2–13,6°.

Ключові слова: рупорна антена, прямокутний рупор, діапазон частот, електромагнітна хвиля, багатомодовий режим, одномодовий режим.