
 ABSTRACT AND REFERENCES

 INFORMATION AND CONTROLLING SYSTEM

DOI 10.15587/1729-4061.2023.277427

IMPROVING A METHOD FOR SEGMENTING OPTICAL-ELECTRONIC IMAGES ACQUIRED FROM SPACE OBSERVATION SYSTEMS BASED ON THE FIREFLY ALGORITHM (p. 6–15)

Hennadii Khudov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3311-2848>

Oleksandr Makoveichuk

Academician Yuriy Bugay International Scientific and Technical
University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4425-016X>

Vladyslav Khudov

Kharkiv National University of Radio Electronics,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9863-4743>

Irina Khizhnyak

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3431-7631>

Yurii Dobryshkin

State Scientific Research Institute of Armament and Military
Equipment Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1044-1822>

Oleksandr Kondratov

Scientific-Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6390-7158>

Vitalii Andronov

Scientific-Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1122-710X>

Ivan Balyk

Scientific-Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7350-3313>

Tetiana Uvarova

The National Defence University of Ukraine named after Ivan
Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2388-4059>

Maksym Kalenyk

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy,
Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0490-5320>

The object of research is the process of segmentation of optoelectronic images acquired from space observation systems. The method of segmentation of optoelectronic images acquired from space observation systems based on the firefly algorithm, unlike known ones, involves the following:

- the pre-selection of brightness channels of the Red-Green-Blue color space in the original image;
- calculation of the level of luminosity for each firefly;
- assigning each firefly with the neighboring firefly, within a certain radius, whose level of luminosity is higher than the natural level of luminosity of the firefly;

– determination of the coordinate of the updated position of the firefly in each brightness channel.

An experimental study into the segmentation of optoelectronic images acquired from space observation systems based on the firefly algorithm was carried out. It is established that the improved segmentation method based on the firefly algorithm allows for the segmentation of optoelectronic images acquired from space observation systems.

The quality of segmentation of optoelectronic images by the method based on the firefly algorithm was evaluated in comparison with methods based on the particle swarm algorithm and the Sine-Cosine algorithm. It was found that the improved method based on the firefly algorithm reduces the segmentation error of the first kind by an average of 11 % and the segmentation error of the second kind by an average of 9 %. This becomes possible by using the firefly algorithm.

Methods of image segmentation can be implemented in software and hardware systems for processing optoelectronic images acquired from space surveillance systems.

Further studies may focus on comparing the quality of segmentation method based on the firefly algorithm with segmentation methods based on genetic algorithms.

Keywords: image segmentation, space observation system, firefly algorithm, position, firefly luminosity.

References

1. Sharad, W. (2021). The development of the earth remote sensing from satellite. *Mechanics of Gyroscopic Systems*, 40, 46–54. doi: <https://doi.org/10.20535/0203-3771402020248768>
2. Amble, J. (2019). Mwi Podcast: Intelligence And The Future Battlefield, With Lt. Gen. Scott Berrier. *Modern War Institute*. Available at: <https://mwi.usma.edu/mwi-podcast-intelligence-future-battlefield-lt-gen-scott-berrier/>
3. *Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance Design for Great Power Competition (2020)*. Congressional Research Service. Available at: <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R46389>
4. *Air & Space Operations Review. A Journal of Strategic Airpower & Spacepower*. Available at: <https://www.airuniversity.af.edu/ASOR/>
5. *Space, the unseen frontier in the war in Ukraine (2022)*. BBC News. Available at: <https://www.bbc.com/news/technology-63109532>
6. Khudov, H., Makoveichuk, O., Khizhnyak, I., Shamrai, B., Glukhov, S., Lunov, O. et al. (2022). The Method for Determining Informative Zones on Images from On-Board Surveillance Systems. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 12 (8), 61–69. doi: https://doi.org/10.46338/ijetae0822_08
7. *A developer's guide to working with geospatial data (2021)*. NGIS. Available at: <https://ngis.com.au/Newsroom/A-developer-s-guide-to-working-with-geospatial-dat>
8. *A Guide to Geospatial Data Analysis, Visualisation & Mapping*. Spyrosoft. Available at: <https://spyro-soft.com/a-guide-to-geospatial-data-analysis-visualisation-mapping>
9. Gomes, V., Queiroz, G., Ferreira, K. (2020). An Overview of Platforms for Big Earth Observation Data Management and Analysis. *Remote Sensing*, 12 (8), 1253. doi: <https://doi.org/10.3390/rs12081253>

10. Kumar, S., Kumar, A., Lee, D.-G. (2022). Semantic Segmentation of UAV Images Based on Transformer Framework with Context Information. *Mathematics*, 10 (24), 4735. doi: <https://doi.org/10.3390/math10244735>
11. Meeboonmak, N., Cooharajanane, N. (2020). Aircraft Segmentation from Remote Sensing Images using Modified Deeply Supervised Salient Object Detection with Short Connections. 2020 International Conference on Mathematics and Computers in Science and Engineering (MACISE). doi: <https://doi.org/10.1109/macise49704.2020.00040>
12. Favorskaya, M. N., Zotin, A. G. (2021). Semantic segmentation of multispectral satellite images for land use analysis based on embedded information. *Procedia Computer Science*, 192, 1504–1513. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.08.154>
13. Grosgeorge, D., Arbelot, M., Goupilleau, A., Ceillier, T., Allieux, R. (2020). Concurrent Segmentation and Object Detection CNNs for Aircraft Detection and Identification in Satellite Images. IGARSS 2020–2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. doi: <https://doi.org/10.1109/igarss39084.2020.9323338>
14. Safarov, F., Temurbek, K., Jamoljon, D., Temur, O., Chedjou, J. C., Abdusalomov, A. B., Cho, Y.-I. (2022). Improved Agricultural Field Segmentation in Satellite Imagery Using TL-ResUNet Architecture. *Sensors*, 22 (24), 9784. doi: <https://doi.org/10.3390/s22249784>
15. Neupane, B., Horanont, T., Aryal, J. (2021). Deep Learning-Based Semantic Segmentation of Urban Features in Satellite Images: A Review and Meta-Analysis. *Remote Sensing*, 13 (4), 808. doi: <https://doi.org/10.3390/rs13040808>
16. Zhang, Q., Hughes, N. (2023). Towards a manual-free labelling approach for deep learning-based ice floe instance segmentation in airborne and high-resolution optical satellite images. doi: <https://doi.org/10.5194/egusphere-2023-295>
17. Niu, Z., Li, H. (2019). Research and analysis of threshold segmentation algorithms in image processing. *Journal of Physics: Conference Series*, 1237 (2), 022122. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1237/2/022122>
18. Li, D., Wang, Y. (2018). Application of an improved threshold segmentation method in SEM material analysis. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 322, 022057. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/322/2/022057>
19. Jha, S. K., Bannerjee, P., Banik, S. (2013). Random Walks based Image Segmentation Using Color Space Graphs. *Procedia Technology*, 10, 271–278. doi: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.361>
20. Smelyakov, K., Chupryna, A., Hvozdiev, M., Sandrkin, D. (2019). Gradational Correction Models Efficiency Analysis of Low-Light Digital Image. 2019 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (EStream). doi: <https://doi.org/10.1109/estream.2019.8732174>
21. Smelyakov, K., Hvozdiev, M., Chupryna, A., Sandrkin, D., Martovytskyi, V. (2019). Comparative Efficiency Analysis of Gradational Correction Models of Highly Lighted Image. 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T). doi: <https://doi.org/10.1109/picst47496.2019.9061356>
22. Ibrahim, N. S., Sharun, S. M., Osman, M. K., Mohamed, S. B., S. Abdullah, S. H. Y. (2021). The application of UAV images in flood detection using image segmentation techniques. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 23 (2), 1219. doi: <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v23.i2.pp1219-1226>
23. Li, H., Tang, Y., Liu, Q., Ding, H., Jing, L., Lin, Q. (2014). A novel multi-resolution segmentation algorithm for high-resolution remote sensing imagery based on minimum spanning tree and minimum heterogeneity criterion. 2014 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium. doi: <https://doi.org/10.1109/igarss.2014.6947070>
24. Ruban, I., Khudov, H., Makoveichuk, O., Chomik, M., Khudov, V., Khizhnyak, I. et al. (2019). Construction of methods for determining the contours of objects on tonal aerospace images based on the ant algorithms. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (101)), 25–34. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.177817>
25. Khudov, H., Ruban, I., Makoveichuk, O., Pevtsov, H., Khudov, V., Khizhnyak, I. et al. (2020). Development of methods for determining the contours of objects for a complex structured color image based on the ant colony optimization algorithm. *EUREKA: Physics and Engineering*, 1, 34–47. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001108>
26. Khudov, H., Makoveichuk, O., Khudov, V., Khizhnyak, I., Khudov, R., Maliuha, V. et al. (2023). Development of a two-stage method for segmenting the color images of urban terrain acquired from space optic-electronic observation systems based on the ant algorithm and the hough algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (9 (121)), 49–61. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.274360>
27. Khudov, H., Makoveichuk, O., Khudov, V., Maliuha, V., Andriienko, A., Tertyshnik, Y. et al. (2022). Devising a method for segmenting images acquired from space optical and electronic observation systems based on the Sine-Cosine algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (119)), 17–24. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265775>
28. Khudov, H., Makoveichuk, O., Butko, I., Gyrenko, I., Stryhun, V., Bilous, O. et al. (2022). Devising a method for segmenting camouflaged military equipment on images from space surveillance systems using a genetic algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (117)), 6–14. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.259759>
29. Ruban, I., Khudov, H., Makoveichuk, O., Butko, I., Glukhov, S., Khizhnyak, I. et al. (2022). Application of the Particle Swarm Algorithm to the Task of Image Segmentation for Remote Sensing of the Earth. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 573–585. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-19-5845-8_40
30. Ruban, I., Khudov, H., Makoveichuk, O., Khudov, V., Kalimulin, T., Glukhov, S. et al. (2022). Methods of UAVs images segmentation based on k-means and a genetic algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (118)), 30–40. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263387>
31. Chen, K., Zhou, Y., Zhang, Z., Dai, M., Chao, Y., Shi, J. (2016). Multi-level Image Segmentation Based on an Improved Firefly Algorithm. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016, 1–12. doi: <https://doi.org/10.1155/2016/1578056>
32. Hema, C., Sankar, S. et al. (2017). Performance comparison of dragonfly and firefly algorithm in the RFID network to improve the data transmission. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 95 (1), 59–67.
33. Satellite Imagery. Available at: <https://www.maxar.com/products/satellite-imagery>
34. Müller, D., Soto-Rey, I., Kramer, F. (2022). Towards a guideline for evaluation metrics in medical image segmentation. *BMC Research Notes*, 15 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s13104-022-06096-y>

35. Khudov, H., Makoveichuk, O., Khizhnyak, I., Glukhov, S., Shamrai, N., Rudnichenko, S. et al. (2022). The Choice of Quality Indicator for the Image Segmentation Evaluation. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 12 (10), 95–103. doi: https://doi.org/10.46338/ijetae1022_11
36. Smelyakov, K., Shupyliuk, M., Martovytskyi, V., Tovchyrechko, D., Ponomarenko, O. (2019). Efficiency of image convolution. 2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL). doi: <https://doi.org/10.1109/caol46282.2019.9019450>
37. Hudov, G. V. (2003). Specific Features of Optimization of Two-Alternative Decisions in Joint Search and Detection of Objects. *Journal of Automation and Information Sciences*, 35 (9), 40–46. doi: <https://doi.org/10.1615/jautomatinfscien.v35.i9.50>
38. Khudov, H., Makoveichuk, O., Misiuk, D., Pietsov, H., Khizhnyak, I., Solomonenko, Y. (2022). Devising a method for processing the image of a vehicle's license plate when shooting with a smartphone camera. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (2 (115)), 6–21. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252310>
39. Smelyakov, K., Datsenko, A., Skrypka, V., Akhundov, A. (2019). The Efficiency of Images Reduction Algorithms with Small-Sized and Linear Details. 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T). doi: <https://doi.org/10.1109/picst47496.2019.9061250>
40. Khudov, H., Makoveichuk, O., Khizhnyak, I., Oleksenko, O., Khazhanets, Y., Solomonenko, Y. et al. (2022). Devising a method for segmenting complex structured images acquired from space observation systems based on the particle swarm algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (116)), 6–13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255203>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.276175

DEVELOPING THE GOOGLNET NEURAL NETWORK FOR THE DETECTION AND RECOGNITION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN THE DATA FUSION SYSTEM (p. 16–25)

Vladislav Semenyuk

Manash Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8580-7326>

Ildar Kurmashev

Manash Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9872-7483>

Alberto Lupidi

National Laboratory of Radar and Surveillance Systems, Pisa, Italy

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3964-8181>

Alessandro Cantelli-Forti

National Laboratory of Radar and Surveillance Systems, Pisa, Italy

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6943-2632>

This work reports a study into the possibility of using the GoogleNet neural network in the optoelectronic channel of the Data Fusion system. The search for the most accurate algorithms for detecting and recognizing unmanned aerial vehicles (UAVs) in Data Fusion systems has been carried out. The data processing scheme was selected (merging SVF state vectors and merging MF measurements), as well as the sensors and recognition models on each channel of the system. The Data Fusion model based on the Kalman

Filter was chosen, integrating radar and optoelectronic channels. Mini-radars LPI-FMCW were used as a radar channel. Evaluation of the effectiveness of the selected Data Fusion channel model in UAV detection is based on the recognition accuracy. The main study is aimed at determining the possibility of using the GoogleNet neural network in the optoelectronic channel for UAV recognition under conditions of different range classes. The neural network for the recognition of drones was developed using transfer training technology. For training, validation, and testing of the GoogleNet neural network, a database has been built, and a special application has been developed in the MATLAB environment. The capabilities of the developed neural network were studied for 5 variants of the distance to the object. The detection objects were the Inspire 2, DJI Phantom 4 Pro, DJI F450, DU 1911 UAVs, not included in the training database. The UAV recognition accuracy by the neural network was 98.13 % at a distance of up to 5 m, 94.65 % at a distance of up to 20 m, 92.47 % at a distance of up to 20 m, 90.28 % at a distance of up to 100 m, and 88.76 % at a distance of up to 200 m. The average speed of UAV recognition by this method was 0.81 s.

Keywords: GoogleNet, YOLO, neural network, Data Fusion, UAV recognition, optical channel, FMCW-radar.

References

1. Shi, X., Yang, C., Xie, W., Liang, C., Shi, Z., Chen, J. (2018). Anti-Drone System with Multiple Surveillance Technologies: Architecture, Implementation, and Challenges. *IEEE Communications Magazine*, 56 (4), 68–74. doi: <https://doi.org/10.1109/mcom.2018.1700430>
2. Liu, H., Wei, Z., Chen, Y., Pan, J., Lin, L., Ren, Y. (2017). Drone Detection Based on an Audio-Assisted Camera Array. 2017 IEEE Third International Conference on Multimedia Big Data (BigMM). doi: <https://doi.org/10.1109/bigmm.2017.57>
3. Abu-Jamous, M., Maghari, A. Y. (2019). UAV Detection Model Using Histogram of Oriented Gradients and SVM. *Gaza*. doi: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26164.99207>
4. Valappil, N. K., Memon, Q. A. (2021). Vehicle Detection in UAV Videos Using CNN-SVM. *Proceedings of the 12th International Conference on Soft Computing and Pattern Recognition (SoCPaR 2020)*, 221–232. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-73689-7_22
5. Dumitrescu, C., Minea, M., Ciotirnae, P. (2019). UAV Detection Employing Sensor Data Fusion and Artificial Intelligence. *Information Systems Architecture and Technology: Proceedings of 40th Anniversary International Conference on Information Systems Architecture and Technology – ISAT 2019*, 129–139. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-30440-9_13
6. Diamantidou, E., Lalas, A., Votis, K., Tzovaras, D. (2019). Multimodal Deep Learning Framework for Enhanced Accuracy of UAV Detection. *Computer Vision Systems*, 768–777. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-34995-0_70
7. Seidaliyeva, U., Akhmetov, D., Ilipbayeva, L., Matson, E. T. (2020). Real-Time and Accurate Drone Detection in a Video with a Static Background. *Sensors*, 20 (14), 3856. doi: <https://doi.org/10.3390/s20143856>
8. Dadboud, F., Patel, V., Mehta, V., Bolic, M., Mantegh, I. (2021). Single-Stage UAV Detection and Classification with YOLOV5: Mosaic Data Augmentation and PANet. 2021 17th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS). doi: <https://doi.org/10.1109/avss52988.2021.9663841>

9. Mahdavi, F., Rajabi, R. (2020). Drone Detection Using Convolutional Neural Networks. 2020 6th Iranian Conference on Signal Processing and Intelligent Systems (ICSPIS). doi: <https://doi.org/10.1109/icspis51611.2020.9349620>
10. Singha, S., Aydin, B. (2021). Automated Drone Detection Using YOLOv4. *Drones*, 5 (3), 95. doi: <https://doi.org/10.3390/drones5030095>
11. Saqib, M., Daud Khan, S., Sharma, N., Blumenstein, M. (2017). A study on detecting drones using deep convolutional neural networks. 2017 14th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS). doi: <https://doi.org/10.1109/avss.2017.8078541>
12. Al-Emadi, S., Al-Ali, A., Mohammad, A., Al-Ali, A. (2019). Audio Based Drone Detection and Identification using Deep Learning. 2019 15th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC). doi: <https://doi.org/10.1109/iwcmc.2019.8766732>
13. Behera, D. K., Bazil Raj, A. (2020). Drone Detection and Classification using Deep Learning. 2020 4th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS). doi: <https://doi.org/10.1109/iciccs48265.2020.9121150>
14. Lee, D., Gyu La, W., Kim, H. (2018). Drone Detection and Identification System using Artificial Intelligence. 2018 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC). doi: <https://doi.org/10.1109/ictc.2018.8539442>
15. Hu, Y., Wu, X., Zheng, G., Liu, X. (2019). Object Detection of UAV for Anti-UAV Based on Improved YOLO v3. 2019 Chinese Control Conference (CCC). doi: <https://doi.org/10.23919/chicc.2019.8865525>
16. Andraši, P., Radišić, T., Muštra, M., Ivošević, J. (2017). Night-time Detection of UAVs using Thermal Infrared Camera. *Transportation Research Procedia*, 28, 183–190. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.12.184>
17. Hammer, M., Hebel, M., Arens, M., Laurenzis, M. (2018). Lidar-based detection and tracking of small UAVs. *Emerging Imaging and Sensing Technologies for Security and Defence III; and Unmanned Sensors, Systems, and Countermeasures*. doi: <https://doi.org/10.1117/12.2325702>
18. Spinello, L., Luber, M., Arras, K. O. (2011). Tracking people in 3D using a bottom-up top-down detector. 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation. doi: <https://doi.org/10.1109/icra.2011.5980085>
19. Li, B., Zhang, T., Xia, T. (2016). Vehicle detection from 3D LiDAR using fully convolutional network. *Robotics: Science and Systems*. doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1608.07916>
20. Armbruster, W., Hammer, M. (2012). Segmentation, classification, and pose estimation of maritime targets in flash-ladar imagery. *Electro-Optical Remote Sensing, Photonic Technologies, and Applications VI*. doi: <https://doi.org/10.1117/12.974838>
21. Teo, M. I., Seow, C. K., Wen, K. (2021). 5G Radar and Wi-Fi Based Machine Learning on Drone Detection and Localization. 2021 IEEE 6th International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS). doi: <https://doi.org/10.1109/icccs52626.2021.9449224>
22. Yang, F., Xu, F., Fioranelli, F., Le Kernec, J., Chang, S., Long, T. (2021). Practical Investigation of a MIMO radar system capabilities for small drones detection. *IET Radar, Sonar & Navigation*, 15 (7), 760–774. doi: <https://doi.org/10.1049/rsn.2.12082>
23. Nuss, B., Sit, L., Fennel, M., Mayer, J., Mahler, T., Zwick, T. (2017). MIMO OFDM radar system for drone detection. 2017 18th International Radar Symposium (IRS). doi: <https://doi.org/10.23919/irs.2017.8008141>
24. Beasley, P., Ritchie, M., Griffiths, H., Miceli, W., Inggis, M., Lewis, S., Kahn, B. (2020). Multistatic Radar Measurements of UAVs at X-band and L-band. 2020 IEEE Radar Conference (RadarConf20). doi: <https://doi.org/10.1109/radarconf2043947.2020.9266444>
25. Quevedo, Á. D., Urzaiz, F. I., Menoyo, J. G., López, A. A. (2019). Drone detection and radar-cross-section measurements by RADAR. *IET Radar, Sonar & Navigation*, 13 (9), 1437–1447. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-rsn.2018.5646>
26. Bernard-Cooper, J., Rahman, S., Robertson, D. A. (2022). Multiple drone type classification using machine learning techniques based on FMCW radar micro-Doppler data. *Radar Sensor Technology XXVI*. doi: <https://doi.org/10.1117/12.2618026>
27. Dhulashia, D., Peters, N., Horne, C., Beasley, P., Ritchie, M. (2021). Multi-Frequency Radar Micro-Doppler Based Classification of Micro-Drone Payload Weight. *Frontiers in Signal Processing*, 1. doi: <https://doi.org/10.3389/frsip.2021.781777>
28. Jajaga, E., Rushiti, V., Ramadani, B., Pavleski, D., Cantelli-Forti, A., Stojkowska, B., Petrovska, O. (2022). An Image-Based Classification Module for Data Fusion Anti-drone System. *Image Analysis and Processing. ICIAP 2022 Workshops*, 422–433. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-13324-4_36
29. Coluccia, A., Fascista, A., Schumann, A., Sommer, L., Dimou, A., Zarpalas, D. et al. (2022). Drone-vs-Bird Detection Challenge at ICIAP 2021. *Image Analysis and Processing. ICIAP 2022 Workshops*, 410–421. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-13324-4_35
30. Lupidi, A., Cantelli-Forti, A., Jajaga, E., Matta, W. (2022). An Artificial Intelligence Application for a Network of LPI-FMCW Miniradar to Recognize Killer-drones. *Proceedings of the 18th International Conference on Web Information Systems and Technologies*. doi: <https://doi.org/10.5220/0011590300003318>
31. Ozcan, T., Basturk, A. (2019). Lip Reading Using Convolutional Neural Networks with and without Pre-Trained Models. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, 7 (2), 195–201. doi: <https://doi.org/10.17694/bajece.479891>
32. Urbann, O., Stenzel, J. (2019). A Convolutional Neural Network that Self-Contained Counts. *Journal of Image and Graphics*, 7 (4), 112–116. doi: <https://doi.org/10.18178/joig.7.4.112-116>
33. Aubakirova, G., Ivel, V., Gerassimova, Y., Moldakhmetov, S., Petrov, P. (2022). Application of artificial neural network for wheat yield forecasting. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (4 (117)), 31–39. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.259653>
34. Kaliaskarov, N., Ivel, V., Gerasimova, Y., Yugay, V., Moldakhmetov, S. (2020). Development of a distributed wireless Wi-Fi system for monitoring the technical condition of remote objects. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (107)), 36–48. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.212301>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.275155

DEVELOPMENT OF OBJECT DETECTION FROM POINT CLOUDS OF A 3D DATASET BY POINT-PILLARS NEURAL NETWORK (p. 26–33)

Omar I. Dallal Bashi

Northern Technical University, Mosul, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3550-7229>

Husamuldeen K. Hameed

Higher Institute of Telecommunications and Postal, Baghdad, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5112-1986>

Yasir Mahmood Al Kubaiaisi

Dubai Academic Health Corporation, Dubai, United Arab Emirates
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2198-1373>

Ahmad H. Sabry

Al-Nahrain University, Baghdad, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2736-5582>

Deep learning algorithms are able to automatically handle point clouds over a broad range of 3D imaging implementations. They have applications in advanced driver assistance systems, perception and robot navigation, scene classification, surveillance, stereo vision, and depth estimation. According to prior studies, the detection of objects from point clouds of a 3D dataset with acceptable accuracy is still a challenging task. The Point-Pillars technique is used in this work to detect a 3D object employing 2D convolutional neural network (CNN) layers. Point-Pillars architecture includes a learnable encoder to use Point-Nets for learning a demonstration of point clouds structured with vertical columns (pillars). The Point-Pillars architecture operates a 2D CNN to decode the predictions, create network estimations, and create 3D envelop boxes for various object labels like pedestrians, trucks, and cars. This study aims to detect objects from point clouds of a 3D dataset by Point-Pillars neural network architecture that makes it possible to detect a 3D object by means of 2D convolutional neural network (CNN) layers. The method includes producing a sparse pseudo-image from a point cloud using a feature encoder, using a 2D convolution backbone to process the pseudo-image into high-level, and using detection heads to regress and detect 3D bounding boxes. This work utilizes an augmentation for ground truth data as well as additional augmentations of global data methods to include further diversity in the data training and associating packs. The obtained results demonstrated that the average orientation similarity (AOS) and average precision (AP) were 0.60989, 0.61157 for trucks, and 0.74377, 0.75569 for cars.

Keywords: object detection, point clouds, point-pillars, deep learning convolutional neural network.

References

- Geiger, A., Lenz, P., Urtasun, R. (2012). Are we ready for autonomous driving? The KITTI vision benchmark suite. 2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. doi: <https://doi.org/10.1109/cvpr.2012.6248074>
- Fuseya, Y., Kariyado, T., Ogata, M. (2009). Are we ready for Autonomous Driving? The KITTI Vision Benchmark Suite Andreas. Journal of the Physical Society of Japan.
- Song, X., Wang, P., Zhou, D., Zhu, R., Guan, C., Dai, Y. et al. (2019). ApolloCar3D: A Large 3D Car Instance Understanding Benchmark for Autonomous Driving. 2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). doi: <https://doi.org/10.1109/cvpr.2019.00560>
- Liu, H., Guo, Y., Ma, Y., Lei, Y., Wen, G. (2021). Semantic Context Encoding for Accurate 3D Point Cloud Segmentation. IEEE Transactions on Multimedia, 23, 2045–2055. doi: <https://doi.org/10.1109/tmm.2020.3007331>
- Dai, A., Chang, A. X., Savva, M., Halber, M., Funkhouser, T., Niessner, M. (2017). ScanNet: Richly-Annotated 3D Reconstructions of Indoor Scenes. 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). doi: <https://doi.org/10.1109/cvpr.2017.261>
- Rossi, D., Veglia, P., Sammarco, M., Larroca, F. (2012). ModelNet-TE: An emulation tool for the study of P2P and traffic engineering interaction dynamics. Peer-to-Peer Networking and Applications, 6 (2), 194–212. doi: <https://doi.org/10.1007/s12083-012-0134-x>
- Sabry, A. H., Nordin, F. H., Sabry, A. H., Abidin Ab Kadir, M. Z. (2020). Fault Detection and Diagnosis of Industrial Robot Based on Power Consumption Modeling. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 67 (9), 7929–7940. doi: <https://doi.org/10.1109/tie.2019.2931511>
- Nazir, D., Afzal, M. Z., Pagani, A., Liwicki, M., Stricker, D. (2021). Contrastive Learning for 3D Point Clouds Classification and Shape Completion. Sensors, 21 (21), 7392. doi: <https://doi.org/10.3390/s21217392>
- Hamza, E., Aziez, S., Hummadi, F., Sabry, A. (2022). Classifying wireless signal modulation sorting using convolutional neural network. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (9 (120)), 70–79. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266801>
- Fernandes, D., Silva, A., Névoa, R., Simões, C., Gonzalez, D., Guevara, M. et al. (2021). Point-cloud based 3D object detection and classification methods for self-driving applications: A survey and taxonomy. Information Fusion, 68, 161–191. doi: <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2020.11.002>
- Zhou, Z., Gong, J. (2018). Automated residential building detection from airborne LiDAR data with deep neural networks. Advanced Engineering Informatics, 36, 229–241. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2018.04.002>
- Qing, L., Yang, K., Tan, W., Li, J. (2020). Automated Detection of Manhole Covers in MLS Point Clouds Using a Deep Learning Approach. IGARSS 2020 - 2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. doi: <https://doi.org/10.1109/igarss39084.2020.9324137>
- Lang, A. H., Vora, S., Caesar, H., Zhou, L., Yang, J., Beijbom, O. (2019). PointPillars: Fast Encoders for Object Detection From Point Clouds. 2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). doi: <https://doi.org/10.1109/cvpr.2019.01298>
- Tu, J., Wang, P., Liu, F. (2021). PP-RCNN: Point-Pillars Feature Set Abstraction for 3D Real-time Object Detection. 2021 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). doi: <https://doi.org/10.1109/ijcnn52387.2021.9534098>
- Hu, T., Sun, X., Su, Y., Guan, H., Sun, Q., Kelly, M., Guo, Q. (2020). Development and Performance Evaluation of a Very Low-Cost UAV-Lidar System for Forestry Applications. Remote Sensing, 13 (1), 77. doi: <https://doi.org/10.3390/rs13010077>
- Guan, L., Chen, Y., Wang, G., Lei, X. (2020). Real-Time Vehicle Detection Framework Based on the Fusion of LiDAR and Camera. Electronics, 9 (3), 451. doi: <https://doi.org/10.3390/electronics9030451>
- Shin, M.-O., Oh, G.-M., Kim, S.-W., Seo, S.-W. (2017). Real-Time and Accurate Segmentation of 3-D Point Clouds Based on Gaussian Process Regression. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 18 (12), 3363–3377. doi: <https://doi.org/10.1109/tits.2017.2685523>
- Cai, H., Rasdorf, W. (2008). Modeling Road Centerlines and Predicting Lengths in 3-D Using LIDAR Point Cloud and Planimetric Road Centerline Data. Computer-Aided Civil and Infrastructure

Engineering, 23 (3), 157–173. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1467-8667.2008.00518.x>

19. Marshall, M. R., Hellfeld, D., Joshi, T. H. Y., Salathe, M., Bandstra, M. S., Bilton, K. J. et al. (2021). 3-D Object Tracking in Panoramic Video and LiDAR for Radiological Source–Object Attribution and Improved Source Detection. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 68 (2), 189–202. doi: <https://doi.org/10.1109/tns.2020.3047646>
20. Xiao, P., Shao, Z., Hao, S., Zhang, Z., Chai, X., Jiao, J. et al. (2021). PandaSet: Advanced Sensor Suite Dataset for Autonomous Driving. 2021 IEEE International Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC). doi: <https://doi.org/10.1109/itsc48978.2021.9565009>
21. Shi, W., Rajkumar, R. (2020). Point-GNN: Graph Neural Network for 3D Object Detection in a Point Cloud. 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). doi: <https://doi.org/10.1109/cvpr42600.2020.00178>
22. Song, S., Lichtenberg, S. P., Xiao, J. (2015). SUN RGB-D: A RGB-D scene understanding benchmark suite. 2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). doi: <https://doi.org/10.1109/cvpr.2015.7298655>
23. Geiger, A., Lenz, P., Stiller, C., Urtasun, R. (2013). Vision meets robotics: The KITTI dataset. *The International Journal of Robotics Research*, 32 (11), 1231–1237. doi: <https://doi.org/10.1177/0278364913491297>
24. Qi, C. R., Litany, O., He, K., Guibas, L. (2019). Deep Hough Voting for 3D Object Detection in Point Clouds. 2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV). doi: <https://doi.org/10.1109/iccv.2019.00937>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277898

METHOD OF ASSESSMENT OF FREQUENCY RESOLUTION FOR AIRCRAFT (p. 34–45)

Serhii Yevseiev

National Technical University “Kharkiv polytechnic institute”,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1647-6444>

Serhii Herasymov

National Technical University “Kharkiv polytechnic institute”,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1810-0387>

Oleksandr Kuznietsov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5915-8107>

Ivan Opirskyy

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8461-8996>

Andrii Volkov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1566-9893>

Yevhen Peleshok

Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0033-1160>

Igor Sinitsyn

Institute of Software Systems of National Academy of Sciences of
Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4120-0784>

Stanislav Milevskiy

National Technical University “Kharkiv polytechnic institute”,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5087-7036>

Tetiana Matovka

State University “Uzhhorod National University”,
Uzhhorod, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2520-5910>

Vasyl Rizak

State University “Uzhhorod National University”,
Uzhhorod, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9177-0662>

The object of the study is to evaluate the quality of the frequency distribution of aircraft, which characterizes the effectiveness of radar surveillance of aircraft and determines the effectiveness of their control using radio signals. The frequency resolution of an aircraft is usually studied using the frequency ambiguity function for a coherent packet of radio pulses. However, there is a problem of estimating phase fluctuations, which is caused by the heterogeneity of the propagation of radio pulses, which affects the functioning of radar stations under different atmospheric conditions. A feature of the study is the development of theoretical provisions for the process of detection and radio control of single aircraft under the organized action of swarms. A normalized frequency ambiguity function is obtained, which takes into account the transformations caused by the radial motion of the aircraft. The calculations made it possible to estimate the range of changes in the frequency distribution under the condition of the additive effect of the internal noise of the radar receiver and the multiplicative effect of the cartelized phase fluctuations of the control radio signal. The statistical characteristics of phase fluctuations of radio pulses were obtained, under which their influence on the operation of radio technical control and radar systems is the most significant. Such statistical characteristics are important for the theory of radar location and of practical importance for the improvement of radio control of objects. Method is proposed for numerical evaluation of the influence of atmospheric disturbances on the frequency distribution function of aircraft during flight. This method is a convenient tool for analyzing the quality of the frequency distribution of a radar station in various conditions of radar surveillance of single aircraft in their organized swarm action.

Keywords: detection and radio control of individual aircraft, frequency uncertainty function, resolution.

References

1. Richards, M. (2014). *Fundamentals of radar signal processing*. McGraw-Hill Education, 656.
2. Skolnik, M. I. (2002). *Introduction to radar systems*. McGraw-Hill Education, 590.
3. Melvin, W. L., Scheer, J. A. (Eds.) (2012). *Principles of modern radar: advanced techniques*. SciTech, 872.
4. Gini, F. (2021). *Grand Challenges in Radar Signal Processing*. *Frontiers in Signal Processing*, 1. doi: <https://doi.org/10.3389/frsip.2021.664232>
5. Chen, V. C., Ling, H. (2001). *Time-frequency transforms for radar imaging and signal analysis*. Artech House.
6. Zhu, X. X., Tuia, D., Mou, L., Xia, G.-S., Zhang, L., Xu, F., Fraundorfer, F. (2017). *Deep Learning in Remote Sensing: A Comprehensive Review and List of Resources*. *IEEE Geoscience and Re-*

- mote Sensing Magazine, 5 (4), 8–36. doi: <https://doi.org/10.1109/mgrs.2017.2762307>
7. Haykin, S. (2006). Cognitive radar: a way of the future. *IEEE Signal Processing Magazine*, 23 (1), 30–40. doi: <https://doi.org/10.1109/msp.2006.1593335>
 8. Aubry, A., De Maio, A., Huang, Y., Piezzo, M., Farina, A. (2015). A new radar waveform design algorithm with improved feasibility for spectral coexistence. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 51 (2), 1029–1038. doi: <https://doi.org/10.1109/taes.2014.140093>
 9. Chen, V. C. (2014). Advances in applications of radar micro-doppler signatures. *Proceeding. IEEE conference Antenna measurements applications (CAMA). Antibes Juan-les-Pins*. doi: <https://doi.org/10.1109/cama.2014.7003362>
 10. Shirman, Ya. D. (Ed.) (2007). *Radioelektronnyye sistemy: osnovy postroyeniya i teoriya: spravochnik*. Moscow: Radio engineering, 512.
 11. Klemm, R., Nickel, U., Gierull, C., Lombardo, P., Griffiths, H., Koch, W. (Eds.) (2013). *Principles of Modern Radar: Advanced Technics*. New York: SciTech Publishing, IET, Edison, 820. doi: <https://doi.org/10.1049/sbra503e>
 12. Klemm, R., Nickel, U., Gierull, C., Lombardo, P., Griffiths, H., Koch, W. (Eds.) (2017). *Novel Radar Technics and Applications. Vol. 1: Real Aperture Array Radar, Imaging Radar, and Passive and Multistatic Radar*. London: SciTech Publishing, IET, 923. doi: <https://doi.org/10.1049/sbra512f>
 13. Zohuri B. (2020). *Fundamentals of Radar. Radar Energy Warfare and the Challenges of Stealth Technology*. Cham: Springer, 1–110. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-40619-6_1
 14. Herasimov, S., Belevshchuk, Y., Ryapolov, I., Tymochko, O., Pavlenko, M., Dmitriev, O. et al. (2018). Characteristics of radiolocation scattering of the Su-25T attack aircraft model at different wavelength ranges. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (9 (96)), 22–29. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.152740>
 15. Kovalchuk, A., Oleshchuk, M., Karlov, V., Karpenko, O., Biesova, O., Lukashuk, O. (2021). Analysis of sensitivity of target tracking systems to external interference in multichannel radars with fixed parameters, *Advanced information systems*, 4 (1), 82–86. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.1.11>
 16. Savchenko, V., Laptiev, O., Kolos, O., Lisnevskiy, R., Ivannikova, V., Ablazov, I. (2021). Hidden Transmitter Localization Accuracy Model Based on Multi-Position Range Measurement. *2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (IEEE ATIT 2020) Conference Proceedings*. Kyiv, 246–251. doi: <https://doi.org/10.1109/atit50783.2020.9349304>
 17. Barton, D. K. (2012). *Radar Equations for Modern Radar*. London: Artech House, 264.
 18. Herasimov, S., Tymochko, O., Kolomiitsev, O., Alosin, G., Kriukov, O., Morozov, O., Alekseyev, V. (2019). Formation analysis of multi-frequency signals of laser information measuring system. *EUREKA: Physics and Engineering*, 5, 19–28. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2019.00984>
 19. Minervin, N. N., Karlov, D. V., Kononov, V. M. (2013). Features of influencing the ionosphere on radar signals at accelerated motion of space objects. *Applied Radio Electronics*, 12 (4), 530–532.
 20. Karlov, V., Kuznetsov, O., Belousov, V., Tuzikov, S., Oleshchuk, M., Petruschenko, V. (2021). Accuracy of measurement of aerodynamic objects angular coordinates under tropospheric refraction conditions. *Control, navigation and communication systems*, 1 (63), 146–152. doi: <https://doi.org/10.26906/sunz.2021.1.146>
 21. Volosyuk, V. K., Gulyaev, Yu. V., Kravchenko, V. F., Kutuza, B. G., Pavlikov, V. V., Pustovoit, V. I. (2014). Modern methods for optimal spatio-temporal signal processing in active, passive, and combined active-passive radio-engineering systems. *Journal of Communications Technology and Electronics*, 59 (2), 97–118. doi: <https://doi.org/10.1134/s1064226914020090>
 22. Klochko, V. K. (2016). Algorithms of 3D radio-wave imaging in airborne Doppler radar. *Radioelectronics and Communications Systems*, 59 (8), 335–343. doi: <https://doi.org/10.3103/s0735272716080021>
 23. Karlov, V. D., Rodiukov, A. O., Pichuhin, I. M. (2015). Statystychni kharakterystyky radiolokatsiynykh sygnaliv vidbytykh vid mistsevykh predmetiv v umovakh anomalnoi refraktsii. *Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy*, 4 (21), 71–74.
 24. Karlov, V., Kuznetsov, O., Artemenko, A., Karlov, A. (2019). Evaluation of the accuracy of measuring the radial velocity of a target with an exponential and alternating decrease in phase correlation of the burst radio signal. *Advanced Information Systems*, 3 (1), 71–75. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.1.12>
 25. Kuznetsov, O., Karlov, V., Karlov, A., Kiyko, A., Lukashuk, O., Biesova, O., Petruschenko, M. (2020). Estimation of the Dispersion of the Error in Measuring the Frequency of a Pack with Correlated Fluctuations in the Initial Phases of its Radio Pulses. *2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW)*. Kharkiv, 174–178. doi: <https://doi.org/10.1109/ukrmw49653.2020.9252588>
 26. Ilioudis, C. V., Clemente, C., Proudler, I. K., Soraghan, J. (2019). Generalized Ambiguity Function for MIMO Radar Systems. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 55 (6), 2629–2646. doi: <https://doi.org/10.1109/taes.2019.2907390>
 27. Minervin, N. N., Vasyuta, K. S. (2013). Measure of angular resolution capability and measuring accuracy of a wave arrival corner in the presence of irregular distortions of its front and additive noise. *Applied Radio Electronics*, 12 (4), 484–486.
 28. Yevseiev, S., Biesova, O., Kyrychenko, D., Lukashuk, O., Milevskiy, S., Pohasii, S. et al. (2021). Development of a method for estimating the effect of transformation of the normalized frequency mismatch function of a coherent bundle of radio pulses on the quality of radar frequency resolution. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (4 (112)), 13–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.238155>
 29. Herasimov, S., Borysenko, M., Roshchupkin, E., Hrabchak, V. I., Nastishin, Yu. A. (2021). Spectrum Analyzer Based on a Dynamic Filter. *Journal of Electronic Testing*, 37 (3), 357–368. doi: <https://doi.org/10.1007/s10836-021-05954-0>
 30. Yevseiev, S., Kuznetsov, O., Herasimov, S., Horielyshev, S., Karlov, A., Kovalov, I. et al. (2021). Development of an optimization method for measuring the Doppler frequency of a packet taking into account the fluctuations of the initial phases of its radio pulses. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (110)), 6–15. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229221>
 31. Mogyla, A. A. (2014). Application of stochastic probing radio signals for the range-velocity ambiguity resolution in doppler weather radars. *Radioelectronics and Communications Systems*, 57 (12), 542–552. doi: <https://doi.org/10.3103/s0735272714120036>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277840

DEVELOPMENT OF CONTROL SOFTWARE FOR SELF-ORGANIZING INTELLIGENT MOBILE ROBOTS (p. 46–58)

Daulet Toibazarov

National Defense University named after the First President of the Republic of Kazakhstan, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7992-6879>

Gani Baiseitov

LLP “Research & Development Center “Kazakhstan Engineering”, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0154-0071>

Abzal Kyzyrkanov

Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8817-8617>

Shadi Aljawareh

Jordan University of Science and Technology, Irbid, Jordan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5748-4921>

Sabyrzhhan Atanov

L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2115-7130>

Maintaining a specific geometric formation during the movement is crucial for multiagent systems of mobile robots in various applications. Proper coordination can lead to reduced system costs, increased reliability and efficiency, and system adaptability and flexibility.

This research proposes a novel movement coordination method for self-governing multiagent systems of intelligent mobile robots. The proposed method uses a leader-follower technique with a virtual leader to maintain a specific geometric structure. Additionally, the epsilon greedy algorithm is utilized to avoid loops. To reduce power consumption, it is proposed to turn on only a few robots' lidars at a time. They could drive all the robots in the group, allowing them to reach the goal without colliding with obstacles.

Experiments on a complex map with nine robots were conducted to test the method's effectiveness. The success rate of the swarm reaching the target position and the number of steps needed were evaluated. Testing varied angular velocities of 1 to 20 degrees and linear velocities of 0.1 to 5.5 m/s. Results show the method effectively guides the robots without collisions.

This method enables a group of self-governing multiagent systems of intelligent mobile robots to maintain a desired formation while avoiding obstacles and reducing power consumption. The results of the experimental study demonstrate the method's potential to be implemented in real-world missions and traffic management systems to increase efficiency and reduce costs.

The proposed method can be utilized in military missions and traffic management systems, where maintaining a specific geometric formation is crucial. The method's ability to avoid obstacles and reduce power consumption can also lead to reduced costs and increased efficiency.

Keywords: multiagent system, mobile robots, formation control, pattern formation.

References

1. Kereyev, A. K., Atanov, S. K., Aman, K. P., Kulmagambetova, Z. K., Kulzhagarova, B. T. (2020). Navigation system based on bluetooth

2. Ioannidi, K., Christakis, Ch., Sautbekov, S., Frangos, P., Atanov, S. K. (2014). The Radiation Problem from a Vertical Hertzian Dipole Antenna above Flat and Lossy Ground: Novel Formulation in the Spectral Domain with Closed-Form Analytical Solution in the High Frequency Regime. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2014, 1–9. doi: <https://doi.org/10.1155/2014/989348>
3. Ouiazane, S., Barramou, F., Addou, M. (2020). Towards a Multi-Agent based Network Intrusion Detection System for a Fleet of Drones. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11 (10). doi: <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2020.0111044>
4. Sakurama, K., Azuma, S.-I., Sugie, T. (2019). Multiagent Coordination Via Distributed Pattern Matching. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 64 (8), 3210–3225. doi: <https://doi.org/10.1109/tac.2018.2885491>
5. Babazadeh, R., Selmic, R. (2020). Distance-Based Multiagent Formation Control With Energy Constraints Using SDRE. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 56 (1), 41–56. doi: <https://doi.org/10.1109/taes.2019.2910361>
6. Ermekbayuly Kyzyrkanov, A., Kubeisinovich Atanov, S., Abdel Rahman Aljawareh, S. (2021). Formation control and coordination of swarm robotic systems. *The 7th International Conference on Engineering & MIS 2021*. doi: <https://doi.org/10.1145/3492547.3492704>
7. Li, Y., Zhang, J., Tong, S. (2022). Fuzzy Adaptive Optimized Leader-Following Formation Control for Second-Order Stochastic Multiagent Systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 18 (9), 6026–6037. doi: <https://doi.org/10.1109/tii.2021.3133927>
8. He, S., Wang, M., Dai, S.-L., Luo, F. (2019). Leader-Follower Formation Control of USVs With Prescribed Performance and Collision Avoidance. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15 (1), 572–581. doi: <https://doi.org/10.1109/tii.2018.2839739>
9. Yan, J., Guan, X., Luo, X., Chen, C. (2017). Formation Control and Obstacle Avoidance for Multi-Agent Systems Based on Virtual Leader-Follower Strategy. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 16 (03), 865–880. doi: <https://doi.org/10.1142/s0219622014500151>
10. Darintsev, O. V., Migranov, A. B. (2019). The Use of Genetic Algorithms for Distribution of Tasks in Groups of Mobile Robots with Minimization of Energy Consumption. *2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)*. doi: <https://doi.org/10.1109/fareastcon.2019.8934927>
11. Simon, D., Kapellos, K., Espiau, B. (1998). Control laws, tasks and procedures with ORCCAD: application to the control of an underwater arm. *International Journal of Systems Science*, 29 (10), 1081–1098. doi: <https://doi.org/10.1080/00207729808929599>
12. Nagy, I., Bencsik, A. L. (2007). A Simulation System for Behaviour based Potential Field Building in Multi-Agent Mobile Robot System. *CI '07: Proceedings of the Third IASTED International Conference on Computational Intelligence*, 7–12. Available at: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/1672041.1672044>
13. Chang, Y., Yamamoto, Y. (2008). On-line path planning strategy integrated with collision and dead-lock avoidance schemes for wheeled mobile robot in indoor environments. *Industrial Robot: An International Journal*, 35 (5), 421–434. doi: <https://doi.org/10.1108/01439910810893590>

14. Bulut, V. (2022). Optimal path planning method based on epsilon-greedy Q-learning algorithm. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 44 (3). doi: <https://doi.org/10.1007/s40430-022-03399-w>
15. Liu, X., Zhang, P., Fang, H., Zhou, Y. (2021). Multi-Objective Reactive Power Optimization Based on Improved Particle Swarm Optimization With ϵ -Greedy Strategy and Pareto Archive Algorithm. *IEEE Access*, 9, 65650–65659. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2021.3075777>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277835

DESIGN OF AN INTELLIGENT SYSTEM TO CONTROL EDUCATIONAL LABORATORY EQUIPMENT BASED ON A HYBRID MINI-POWER PLANT (p. 59–71)

Bogdan Orobchuk

Ternopil Ivan Puluj National Technical University,
Ternopil, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6375-2440>

Oleh Buniak

Ternopil Ivan Puluj National Technical University,
Ternopil, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9304-8254>

Ivan Sysak

Ternopil Ivan Puluj National Technical University,
Ternopil, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2315-7911>

Serhii Babiuk

Ternopil Ivan Puluj National Technical University,
Ternopil, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5318-8586>

The object of research is the processes of energy conversion based on the use of alternative energy sources with an intelligent control system of actuators. This technological advancement is part of the equipment at the laboratory of dispatch control over power supply of Ternopil Ivan Puluj National Technical University. The research and the designed system could increase the level of training of future specialists for production activities during the educational process. Another task addressed was to provide technological production with practically trained specialists who could successfully work under conditions of its high automation and informatization. As a result of the research, an operating model of a hybrid solar mini-power plant and a controller with a Wi-Fi module were constructed. On the basis of the designed controller, an intelligent control system of actuators was built, which is powered by this power plant. Owing to the flexible configuration system, the controller is easily adjusted for various production tasks while the controller software provides the possibility of updating and expanding its functionality in the future. The controller has a web interface that allows monitoring and debugging from browsers without using specialized applications. A feature of the designed intelligent control system is that it can operate continuously owing to power from a hybrid solar power plant. The power plant built operates both from solar energy and from a centralized network and rechargeable batteries under an automatic mode. The results of research and technological advancements could be useful in forming practical skills of would-be specialists in the design and implementation of energy-efficient technologies, as well as intelligent control systems in the electric power industry.

Keywords: hybrid power plant, intelligent system, solar panel, controller, educational process.

References

1. Orobchuk, B., Sysak, I., Babiuk, S., Rajba, T., Karpinski, M., Klos-Witkowska, A. et al. (2017). Development of simulator automated dispatch control system for implementation in learning process. 2017 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS). doi: <https://doi.org/10.1109/idaacs.2017.8095078>
2. Orobchuk, B., Rafalyuk, O., Piskun, S. (2017). Introduction of telemechanics systems for power objects management in the educational process. *Materialy III Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii „Teoretychni ta prykladni aspekty radiotekhniki i pry-ladobuduvannia“*, 224–226. Available at: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/24250/2/FPT_2017_Orobchuk_B-Introduction_of_telemechanics_224-226.pdf
3. Stognii, B. S., Kyrlyenko, O. V., Prahovnyk, O. V., Denysyuk, S. P. (2012). The evolution of intelligent electrical networks and their prospects in Ukraine. *Tekhnichna elektrodynamika*, 5, 52–67. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/62229/08-Stogny.pdf?sequence=1>
4. Kompleks dystantsiinoho keruvannia tekhnolohichnykh protsesamy «Strila-M» na osnovi PK. *Tekhnichniy opys ta instruktsiia z ekspluatatsiyi* (2010). Ternopil.
5. Soniachni elektrostantsiyi. *Solar Systym*. Available at: <https://solar-system.com.ua/gibrid-stants%D1%96yi/>
6. Kudria, S. O. (Ed.) (2020). *Vidnovliuvani dzherela enerhiyi*. Kyiv: Instytut vidnovliuvanoi enerhetyky NANU, 392.
7. *Perspektyvy rozvytku hibrydnykh enerhetychnykh system. Enerho Dzherela*. Available at: <https://enerhodzherela.com.ua/analytika/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%BF%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%B8-%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%BA%D1%83-%D0%B3%D1%96%D0%B1%D1%80-%D0%B8%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D1%85-%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B8%D1%85-%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC>
8. Mkhitarian, N. M., Machulin, V. F. (2006). *Problemy razvitiya energetiki Ukrainy. Vozobnovlyamaya i netraditsionnaya energetika*. Nauka ta innovatsiyi, 2 (2), 63–75.
9. Orobchuk, B. Ya., Staryk, Yu. I. (2019). Vprovadzhennia tekhnolohichnoi radiomerezhi obminu danykh. *Materialy VIII Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsiyi molodykh uchenykh ta studentiv. Aktualni zadachi suchasnykh tekhnolohiy*. Ternopil, 63–64. Available at: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/31036/2/MNTKv3_2019v3_Orobchuk_B_Y-Implementation_of_technological_63-64.pdf
10. *European SmartGrids Technology Platform: vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future* (2006). European Commission. Available at: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a2ea8d86-7216-444d-8ef5-2d789fa890fc/language-en>
11. Peterheria, Yu. S., Zhuikov, V. Ya., Tereshchenko, T. O. (2008). *Intelektualni systemy zabezpechennia enerhozberzhennia zhytlovykh budynkiv*. Kyiv: Media-PRES, 259. Available at: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/41110/1/Intellectual%20system_textbook.pdf
12. Stadnik, M. I., Vydmysh, A. A., Shtuts, A. A., Kolisnyk, M. A. (2020). *Intelektualni systemy v elektroenerhetytsi. Teoriya ta praktyka*. Vin-

- nytsia: TOV «TVORY», 332. Available at: http://socrates.vsau.org/method/getfile.php/25077.pdf?card_id=15792
13. Hunko, I. V., Halushchak, O. O., Kravets, S. M. (2019). Analiz tekhnolohichnykh system. Obgruntuvannia inzhenernykh rishen. Vinnytsia: VNAU, 216.
 14. Orobchuk, B., Kit, N. (2022). Study of model operation modes solar power plant in the MATLAB package. Materialy XI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsiyi molodykh uchenykh ta studentiv «AKTUALNI ZADACHI SUCHASNYKH TEKHOLOHIH», 84–85. Available at: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/40669/2/MNPK_2022_Orobchuk_B-Study_of_model_operation_84-85.pdf
 15. Invertor dlya solnechnykh batarey. SolarSoul.net. Available at: <https://solarsoul.net/invertor-dlya-solnechnyx-batarej>
 16. Surface Meteorology and Solar Energy. Available at: <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>
 17. Solar Energy. Bloomberg. Available at: <https://www.bloomberg.com/quicktake/solar-energy>
 18. Shelest, M. B., Haida, P. I. (2014). Osnovy budovy ta eksploataciyi akumulatornykh batarei. Sumy: Sumskyi derzhavnyi universytet, 210. Available at: <https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/37035/1/batarei.doc>
 19. Bekirov, E., Voskresenskaya, S., Khimich, A. (2010). Raschet sistemy avtonomnogo energosnabzheniya s ispol'zovaniem fotoelektricheskikh preobrazovateley. Siferopol': Nats. akad. prirod. i kurtort, 210. Available at: <https://obuchalka.org/2014041876892/raschet-sistemi-avtonomnogo-energosnabzheniya-s-ispolzovaniem-fotoelektricheskikh-preobrazovatelei-bekirov-e-a-voskresenskaya-s-n-himich-a-p-2010.html>
 20. Kozhemiako, V. P., Dombrovskiy, V. H., Zherdetskiy, V. F., Malinovskiy, V. I., Prytuliak, H. V. (2011). Analitichnyi ohliad suchasnykh tekhnolohiy fotoelektrychnykh peretvoriuvachiv dlia soniachnoi enerhetyky. Optyko-elektronni informatsiyno-enerhetychni tekhnolohiyi, 2, 141–157. Available at: <https://oeipt.vntu.edu.ua/index.php/oeipt/article/download/239/238>
 21. Soniachna enerhetyka v Ukraini. AVENSTON. Available at: <https://avenston.com/articles/solar-in-ukraine-2019/>
 22. Handbook part I: Software. Meteonorm. Available at: https://meteonorm.com/assets/downloads/mn73_software.pdf
 23. Kontrolery zariadu AKB. Solar - Tech. Available at: <https://solar-tech.com.ua/ua/inverters%20and%20charge%20controllers/battery-charge-controllers/>
 24. Avtomatyzovana systema dyspetcherskoho keruvannia «Strila». Tekhnichniy opys i instruktciya z eksploataciyi (2016). Ternopil.
 25. Vse, chto trebuetsya dlya sozdaniya otlichnykh prilozheniy. Available at: <https://visualstudio.microsoft.com/ru/free-developer-offers/>
 26. Ubiquiti Networks – Wi-Fi i Merezheve obladnannia. Available at: <https://www.ui.com/>
 27. Orobchuk, B., Koval, V. (2020). Development and research of Wi-Fi network for receiving and transmitting telemechanical information in the training laboratory. Scientific Journal of the Ternopil National Technical University, 99 (3), 124–131. doi: https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2020.03.124
 28. Orobchuk, B., Sysak, I., Babiuk, S., Karpinski, M., Jancarczyk, D. (2020). Development and implementation of a local area wireless network in the educational process on the basis of the dispatch control simulator. Przetwarzanie, transmisja i bezpieczeŃstwo informacji. Available at: https://www.engineerxxi.ath.eu/wp-content/uploads/2020/12/engineerxxi_2020_vol2_25.pdf
 29. Mikroprotsesorni ta mikrokontrolerni systemy: Laboratornyi praktykum (2021). Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 247. Available at: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/43054/1/MP_ta_MKS_2_LabPrakt.pdf

АНОТАЦІЇ
INFORMATION AND CONTROLLING SYSTEM**DOI 10.15587/1729-4061.2023.277427****УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ СЕГМЕНТУВАННЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ЗОБРАЖЕНЬ З КОСМІЧНИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ НА ОСНОВІ АЛГОРИТМУ СВІТЛЯЧКІВ (с. 6–15)****Г. В. Худов, О. М. Маковейчук, В. Г. Худов, І. А. Хижняк, Ю. М. Добришкін, О. М. Кондратов, В. В. Андронов, І. В. Балик, Т. В. Уварова, М. М. Каленик**

Об'єктом дослідження є процес сегментування оптико-електронних зображень з космічних систем спостереження. Метод сегментування оптико-електронних зображень з космічних систем спостереження на основі алгоритму світлячків, на відміну від відомих, передбачає:

- попереднє виділення каналів яскравості кольорового простору Red-Green-Blue на вихідному зображенні;
- обчислення рівня світлості кожному світлячку;
- визначення кожному світлячку того світлячку-сусіда всередині визначеного радіуса, у якого рівень світлості вищий, ніж власний рівень світлості світлячку;
- визначення координати оновленої позиції світлячку в кожному каналі яскравості.

Проведено експериментальне дослідження сегментування оптико-електронного зображення з космічних систем спостереження на основі алгоритму світлячків. Встановлено, що удосконалений метод сегментування на основі алгоритму світлячків дозволяє проводити сегментування оптико-електронних зображень з космічних систем спостереження.

Проведено оцінювання якості сегментування оптико-електронних зображень методом на основі алгоритму світлячків з методами на основі алгоритму рою частинок та Sine-Cosine алгоритму. Встановлено, що удосконалений метод на основі алгоритму світлячків знижує помилку сегментування першого роду в середньому на 11 % та помилку сегментування другого роду в середньому на 9 %. Це стає можливим за рахунок використання алгоритму світлячків.

Методи сегментування зображень можуть бути реалізовані у програмно-технічних комплексах обробки оптико-електронних зображень з космічних систем спостереження.

Подальші дослідження можуть бути на порівняння якості сегментування методом на основі алгоритму світлячків з методами сегментування на основі генетичних алгоритмів.

Ключові слова: сегментування зображення, космічна система спостереження, алгоритм світлячків, позиція, світлість світлячку.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.276175**РОЗРОБКА НЕЙРОМЕРЕЖІ GOOGLNET ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ БЕЗПЛОТНИХ АПАРАТІВ В СИСТЕМІ DATA FUSION (с. 16–25)****Vladislav Semenyuk, Ildar Kurmashev, Alberto Lupidi, Alessandro Cantelli-Forti**

У цій роботі повідомляється про дослідження можливості використання нейронної мережі GoogleNet в оптико-електронному каналі системи Data Fusion. Проведено пошук найбільш точних алгоритмів виявлення та розпізнавання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в системах Data Fusion. Було обрано схему обробки даних (об'єднання векторів стану SVF та об'єднання вимірювань MF), а також датчики та моделі розпізнавання на кожному каналі системи. Була обрана модель Data Fusion на основі фільтра Калмана, яка об'єднує радіолокаційні та оптико-електронні канали. В якості радіолокаційного каналу використовувалися мінірадары LPI-FMCW. Оцінка ефективності обраної моделі каналу Data Fusion у виявленні БПЛА базується на точності розпізнавання. Основне дослідження спрямоване на визначення можливості використання нейронної мережі GoogleNet в оптико-електронному каналі розпізнавання БПЛА в умовах різних класів дальності. Нейронна мережа для розпізнавання дронів була розроблена з використанням технології трансферного навчання. Для навчання, перевірки та тестування нейронної мережі GoogleNet створено базу даних і розроблено спеціальний додаток у середовищі MATLAB. Можливості розробленої нейронної мережі досліджували для 5 варіантів відстані до об'єкта. Об'єктами виявлення були БПЛА Inspire 2, DJI Phantom 4 Pro, DJI F450, DU 1911, не включені до навчальної бази. Точність розпізнавання БПЛА нейронною мережею склала 98,13 % на відстані до 5 м, 94,65 % на відстані до 20 м, 92,47 % на відстані до 20 м, 90,28 % на відстані до 100 м, а на дистанції до 200 м – 88,76 %. Середня швидкість розпізнавання БПЛА цим методом склала 0,81 с.

Ключові слова: GoogleNet, YOLO, нейронна мережа, Data Fusion, розпізнавання БПЛА, оптичний канал, FMCW-радар.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.275155

РОЗРОБКА ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ З ХМАР ТОЧОК ТРИВИМІРНОГО НАБОРУ ДАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ POINT-PILLARS (с. 26–33)

Omar I. DallalBashi, Husamuldeen K. Hameed, YasirMahmood Abdullah Al Kubaiaisi, Ahmad H. Sabry

Алгоритми глибокого навчання дозволяють автоматично обробляти хмари точок у широкому діапазоні реалізації тривимірної візуалізації. Вони застосовуються в сучасних системах допомоги водієві, в області сприйняття та навігації роботів, класифікації сцен, спостереження, стереобачення та оцінки глибини. Згідно з попередніми дослідженнями, виявлення об'єктів з хмар точок тривимірною набору даних з прийнятною точністю все ще є складним завданням. У роботі використовується метод Point-Pillars для виявлення тривимірних об'єктів з використанням шарів двовимірної згорткової нейронної мережі (CNN). Архітектура Point-Pillars включає навчальний кодувальник для використання Point-Nets для навчання демонстрації хмар точок, структурованих вертикальними стовпцями (pillars). Архітектура Point-Pillars використовує двовимірну CNN для декодування прогнозів, створення оцінок мережі та тривимірних оболонок для позначення різних об'єктів, таких як пішоходи, вантажівки та легкові автомобілі. Метою даного дослідження є виявлення об'єктів із хмар точок тривимірною набору даних за допомогою архітектури нейронної мережі Point-Pillars, що дозволяє виявляти тривимірний об'єкт за допомогою шарів двовимірної згорткової нейронної мережі (CNN). Даний метод включає в себе отримання розрідженого псевдозображення з хмари точок за допомогою кодувальника ознак, використання магістралі двовимірної згортки для обробки псевдозображення у високорівневі та використання детекторних головок для регресії і виявлення тривимірних обмежувачів рамок. У роботі використовується доповнення до даних підсупутникових спостережень, а також додаткові доповнення до глобальних методів збору даних для включення подальшої різноманітності в пакети даних навчання та ідентифікації. Отримані результати показали, що середня подібність орієнтації (AOS) та середня точність (AP) склали 0,60989, 0,61157 для вантажних автомобілів та 0,74377, 0,75569 для легкових автомобілів.

Ключові слова: виявлення об'єктів, хмари точок, point-pillars, згорткова нейронна мережа з глибоким навчанням.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277898

МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ РОЗДІЛЬНОЇ ЧАСТОТИ ДЛЯ ЛІТАКІВ (с. 34–45)

С. П. Євсєєв, С. В. Герасимов О. Л. Кузнецов, І. Р. Опірський, А. Ф. Волков, Є. В. Пелешок, І. П. Сініцин, С. В. Мілевський, Т. В. Матювка, В. М. Різак

Об'єкт дослідження – оцінювання якості частотного розподілення літаків, яка характеризує ефективність радіолокаційного спостереження за літальними апаратами та визначає ефективність управління ними за допомогою радіосигналів. Частотну роздільну здатність літака зазвичай вивчають за допомогою функції частотної неоднозначності для когерентного пакета радіоімпульсів. Однак виникає проблема оцінювання фазових флуктуацій, що обумовлено неоднорідністю розповсюдження радіоімпульсів, яка впливає на функціонування радіолокаційних станцій при різних атмосферних умовах. Особливістю дослідження є розробка теоретичних положень для процесу виявлення та радіоуправління одиночними літальними апаратами за їх організованої дії роїв. Отримана нормалізована функція неоднозначності частоти, яка враховує перетворення, спричинені радіальним рухом літака. Проведені розрахунки дозволили оцінити діапазон зміни частотного розподілення за умови адитивного впливу внутрішніх шумів радіолокаційного приймача та мультиплікативного впливу картельованих фазових флуктуацій контрольованого радіосигналу. Отримано статистичні характеристики фазових флуктуацій радіоімпульсів, за яких їх вплив на роботу систем радіотехнічного контролю та радіолокації найбільш суттєвий. Такі статистичні характеристики мають важливе значення для теорії радіолокації та практичне значення для вдосконалення радіоуправління об'єктами. Запропонований метод для чисельної оцінки впливу атмосферних збурень на функцію частотного розподілення літаків під час польоту. Даний метод є зручним інструментом для аналізу якості частотного розподілення станції радіолокації в різних умовах радіолокаційного спостереження за одиночними літальними апаратами за їх організованої дії роями.

Ключові слова: виявлення та радіоуправління окремими літаками, функція частотної невизначеності, роздільна здатність.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277840

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КЕРУВАННЯ ДЛЯ САМООРГАНІЗАЦІЇ РОЗУМНИХ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ (с. 46–58)

Daulet Toibazarov, Gani Baiseitov, Kyzyrkanov Abzal, Shadi Aljawarneh, Sabyrzhan Atanov

Збереження певної геометричної форми під час руху має вирішальне значення для мультиагентних систем мобільних роботів у різних застосуваннях. Належна координація може призвести до зниження витрат на систему, підвищення надійності та ефективності, а також адаптивності та гнучкості системи.

Це дослідження пропонує новий метод координації руху для самокерованих мультиагентних систем інтелектуальних мобільних роботів. Запропонований метод використовує техніку «лідер-слідувач» з віртуальним лідером для підтримки певної геометричної структури. Крім того, для уникнення циклів використовується жадібний алгоритм epsilon. Щоб зменшити енергоспоживання, пропо-

нується вмикати лише кілька лідарів роботів одночасно. Вони могли керувати всіма роботами в групі, дозволяючи їм досягти мети, не стикаючись з перешкодами.

Щоб перевірити ефективність методу, були проведені експерименти на складній карті з дев'ятьма роботами. Було оцінено рівень успіху досягнення рою цільової позиції та кількість необхідних кроків. Тестування змінюваних куткових швидкостей від 1 до 20 градусів і лінійних швидкостей від 0,1 до 5,5 м/с. Результати показують, що метод ефективно керує роботами без зіткнень.

Цей метод дозволяє групі самокерованих мультиагентних систем інтелектуальних мобільних роботів підтримувати бажану форму, уникаючи перешкод і зменшуючи енергоспоживання. Результати експериментального дослідження демонструють потенціал методу для реалізації в реальних місіях і системах управління трафіком для підвищення ефективності та зниження витрат.

Запропонований метод може бути використаний у військових місіях і системах управління дорожнім рухом, де підтримка певної геометричної форми є вирішальною. Здатність методу уникати перешкод і зменшувати споживання електроенергії також може призвести до зниження витрат і підвищення ефективності.

Ключові слова: мультиагентна система, мобільні роботи, управління формуванням, формування шаблону.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277835

РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОБЛАДНАННЯМ НАВЧАЛЬНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ НА БАЗІ ГІБРИДНОЇ МІНІ-ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ (с. 59–71)

Б. Я. Оробчук, О. А. Буняк, І. М. Сисак, С. М. Бабюк

Об'єктом дослідження є процеси перетворення енергії на основі застосування альтернативних джерел енергії з інтелектуальною системою керування виконавчими механізмами. Розробка є частиною обладнання лабораторії диспетчерського управління електропостачанням Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Проведені дослідження та розроблена система дозволять підвищити рівень підготовки майбутніх фахівців до виробничої діяльності ще під час проведення навчального процесу. Також вирішується проблема забезпечення технологічних виробництв практично підготовленими фахівцями, які зможуть успішно працювати в умовах їх високої автоматизації і інформатизації. В результаті проведених досліджень було розроблено діючий макет гібридної сонячної міні-електростанції та контролер керування з Wi-Fi-модулем. На базі розробленого контролера керування побудовано інтелектуальну систему керування виконавчими механізмами, яка живиться від цієї електростанції. Завдяки гнучкій системі налаштування контролер легко налаштовується під різні виробничі задачі, а програмне забезпечення контролера передбачає можливість оновлення та розширення його функціональності в майбутньому. Контролер володіє вебінтерфейсом, що дозволяє здійснювати контроль та налагодження з браузерів без використання спеціалізованих додатків. Особливістю розробленої інтелектуальної системи керування є те, що вона може безперервно працювати завдяки живленню від гібридної сонячної електростанції. Розроблена електростанція працює як від сонячної енергії, так і від централізованої мережі та акумуляторних батарей в автоматичному режимі. Результати досліджень та розробок будуть корисними при формуванні практичних навиків майбутніх фахівців в проектуванні та впровадженні енергоефективних технологій, а також інтелектуальних систем керування в електроенергетиці.

Ключові слова: гібридна електростанція, інтелектуальна система, сонячна панель, контролер керування, навчальний процес.