

ABSTRACT AND REFERENCES

INFORMATION TECHNOLOGY. INDUSTRY CONTROL SYSTEMS

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313690
REMOVING CLOUDINESS ON OPTICAL SPACE
IMAGES BY A GENERATIVE ADVERSARIAL
NETWORK MODEL USING SAR IMAGES (p. 6–12)

Mykola Romanchuk

Korolov Zhytomyr Military Institute,
 Zhytomyr, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0087-8994>

Andrii Zavada

Korolov Zhytomyr Military Institute,
 Zhytomyr, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4378-8120>

Olena Naumchak

Korolov Zhytomyr Military Institute,
 Zhytomyr, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3336-1032>

Leonid Naumchak

Korolov Zhytomyr Military Institute,
 Zhytomyr, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7311-6659>

Iryna Kosheva

Korolov Zhytomyr Military Institute,
 Zhytomyr, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5429-5489>

The object of this study is the process of removing cloudiness on optical space images. Solving the cloudiness removal task is an important stage in processing data from the Earth remote probing (ERP) aimed at reconstructing the information hidden by these atmospheric disturbances. The analyzed shortcomings in the fusion of purely optical data led to the conclusion that the best solution to the cloudiness removal problem is a combination of optical and radar data. Compared to conventional methods of image processing, neural networks could provide more efficient and better performance indicators due to the ability to adapt to different conditions and types of images. As a result, a generative adversarial network (GAN) model with cyclic-sequential 7-ResNeXt block architecture was constructed for cloud removal in optical space imagery using synthetic aperture radar (SAR) imagery. The model built generates fewer artifacts when transforming the image compared to other models that process multi-temporal images.

The experimental results on the SEN12MS-CR data set demonstrate the ability of the constructed model to remove dense clouds from simultaneous Sentinel-2 space images. This is confirmed by the pixel reconstruction of all multispectral channels with an average RMSE value of 2.4 %. To increase the informativeness of the neural network during model training, a SAR image with a C-band signal is used, which has a longer wavelength and thereby provides medium-resolution data about the geometric structure of the Earth's surface. Applying this model could make it possible to improve the situational awareness at all levels of control over the Armed Forces (AF) of Ukraine through the use of current space observations of the Earth from various ERP systems.

Keywords: remote probing, image reconstruction, cloud removal, generative adversarial network.

References

1. Rees, W. G. (2012). *Physical Principles of Remote Sensing*. Cambridge University Press <https://doi.org/10.1017/cbo9781139017411>
2. Shen, H., Li, X., Cheng, Q., Zeng, C., Yang, G., Li, H., Zhang, L. (2015). Missing Information Reconstruction of Remote Sensing Data: A Technical Review. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 3 (3), 61–85. <https://doi.org/10.1109/mgrs.2015.2441912>
3. Xu, M., Jia, X., Pickering, M., Jia, S. (2019). Thin cloud removal from optical remote sensing images using the noise-adjusted principal components transform. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 149, 215–225. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.01.025>
4. Ji, T.-Y., Yokoya, N., Zhu, X. X., Huang, T.-Z. (2018). Nonlocal Tensor Completion for Multitemporal Remotely Sensed Images' Inpainting. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 56 (6), 3047–3061. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2018.2790262>
5. Li, X., Wang, L., Cheng, Q., Wu, P., Gan, W., Fang, L. (2019). Cloud removal in remote sensing images using nonnegative matrix factorization and error correction. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 148, 103–113. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.12.013>
6. Meng, F., Yang, X., Zhou, C., Li, Z. (2017). A Sparse Dictionary Learning-Based Adaptive Patch Inpainting Method for Thick Clouds Removal from High-Spatial Resolution Remote Sensing Imagery. *Sensors*, 17 (9), 2130. <https://doi.org/10.3390/s17092130>
7. Cheng, Q., Shen, H., Zhang, L., Yuan, Q., Zeng, C. (2014). Cloud removal for remotely sensed images by similar pixel replacement guided with a spatio-temporal MRF model. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 54–68. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.015>
8. Eckardt, R., Berger, C., Thiel, C., Schmullius, C. (2013). Removal of Optically Thick Clouds from Multi-Spectral Satellite Images Using Multi-Frequency SAR Data. *Remote Sensing*, 5 (6), 2973–3006. <https://doi.org/10.3390/rs5062973>
9. Zhang, Q., Yuan, Q., Zeng, C., Li, X., Wei, Y. (2018). Missing Data Reconstruction in Remote Sensing Image With a Unified Spatial–Temporal–Spectral Deep Convolutional Neural Network. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 56 (8), 4274–4288. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2018.2810208>
10. Isola, P., Zhu, J.-Y., Zhou, T., Efros, A. A. (2017). Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks. 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). <https://doi.org/10.1109/cvpr.2017.632>
11. Zhang, X., Zhang, T., Wang, G., Zhu, P., Tang, X., Jia, X., Jiao, L. (2023). Remote Sensing Object Detection Meets Deep Learning: A metareview of challenges and advances. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 11 (4), 8–44. <https://doi.org/10.1109/mgrs.2023.3312347>
12. He, K., Zhang, X., Ren, S., Sun, J. (2016). Deep Residual Learning for Image Recognition. 2016 IEEE Conference on Computer Vi-

sion and Pattern Recognition (CVPR). <https://doi.org/10.1109/cvpr.2016.90>

13. Meng, Q., Borders, B. E., Cieszewski, C. J., Madden, M. (2009). Closest Spectral Fit for Removing Clouds and Cloud Shadows. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75 (5), 569–576. <https://doi.org/10.14358/pers.75.5.569>
14. Schmitt, M., Zhu, X. X. (2016). Data Fusion and Remote Sensing: An ever-growing relationship. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 4 (4), 6–23. <https://doi.org/10.1109/mgrs.2016.2561021>
15. Wang, L., Xu, X., Yu, Y., Yang, R., Gui, R., Xu, Z., Pu, F. (2019). SAR-to-Optical Image Translation Using Supervised Cycle-Consistent Adversarial Networks. *IEEE Access*, 7, 129136–129149. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2939649>
16. Zhu, J.-Y., Park, T., Isola, P., Efros, A. A. (2017). Unpaired Image-to-Image Translation Using Cycle-Consistent Adversarial Networks. 2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). <https://doi.org/10.1109/iccv.2017.244>
17. Mao, X., Li, Q., Xie, H., Lau, R. Y. K., Wang, Z., Smolley, S. P. (2017). Least Squares Generative Adversarial Networks. 2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). <https://doi.org/10.1109/iccv.2017.304>
18. Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press. Available at: <https://www.deeplearningbook.org/>
19. Ebel, P., Meraner, A., Schmitt, M., Zhu, X. X. (2021). Multisensor Data Fusion for Cloud Removal in Global and All-Season Sentinel-2 Imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 59 (7), 5866–5878. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2020.3024744>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.312621

DEVELOPMENT OF DATA-EFFICIENT TRAINING TECHNIQUES FOR DETECTION AND SEGMENTATION MODELS IN ATRIAL SEPTUM DEFECT ANALYSIS (p. 13–23)

Sabina Rakhmetulayeva

Satbayev University,
Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4678-7964>

Baubek Ukibassov

Narxoz University,
Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0439-0187>

Zhandos Zhanabekov

Kazakh-British Technical University,
Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5984-7132>

Aigerim Bolshibayeva

International IT University,
Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1191-4249>

The object of this research is to develop a data-efficient pipeline for the detection of atrial septal defects (ASDs) using echocardiographic images. ASDs are common congenital heart defects that can lead to serious health issues if not diagnosed early. Rising mortality rates due to undetected ASDs highlight the urgent need for improved diagnostic methods. To address the problem of limited annotated medical data hindering accurate detection models, this study fine-tuned the SegFormer model for precise segmentation

of cardiac structures in echocardiography images, focusing on the four-chamber heart view essential for ASD detection. By integrating SegFormer with the YOLOv7 detection model, known for real-time object detection, the ASD regions within the segmented heart structures were accurately identified. This cross-referencing ensures anatomically accurate diagnoses and reduces false positives. The study results demonstrate that despite limited data, the integrated method achieves high accuracy and speed, outperforming traditional models. This improvement is explained by the synergy between SegFormer's transformer-based segmentation and YOLOv7's efficient detection capabilities. The distinctive feature of our approach is the successful integration of these models in a data-efficient manner, enabling effective ASD detection even with scarce data. The scope of practical use includes deployment in clinical settings with limited resources, requiring only echocardiographic equipment and basic computational resources. By providing clinicians with a reliable tool for ASD detection, the study supports timely interventions in pediatric cardiology, ultimately improving patient outcomes and enhancing care consistency.

Keywords: deep learning, SegFormer, echocardiography, image segmentation, YOLOv7, data augmentation.

References

1. Williams, M. R., Perry, J. C. (2018). Arrhythmias and conduction disorders associated with atrial septal defects. *Journal of Thoracic Disease*, 10 (S24), S2940–S2944. <https://doi.org/10.21037/jtd.2018.08.27>
2. Liu, Y., Huang, Q., Han, X., Liang, T., Zhang, Z., Lu, X. et al. (2024). Atrial Septal Defect Detection in Children Based on Ultrasound Video Using Multiple Instances Learning. *Journal of Imaging Informatics in Medicine*, 37 (3), 965–975. <https://doi.org/10.1007/s10278-024-00987-1>
3. Mertens, L., Friedberg, M. K. (2009). The gold standard for noninvasive imaging in congenital heart disease: echocardiography. *Current Opinion in Cardiology*, 24 (2), 119–124. <https://doi.org/10.1097/hco.0b013e328323d86f>
4. Sadeghpour, A., Alizadehasl, A. (2018). Echocardiography in the Critical Care Unit. *Case-Based Textbook of Echocardiography*, 423–430. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67691-3_32
5. Lancellotti, P., Price, S., Edvardsen, T., Cosyns, B., Neskovic, A. N., Dulgheru, R. et al. (2014). The use of echocardiography in acute cardiovascular care: Recommendations of the European Association of Cardiovascular Imaging and the Acute Cardiovascular Care Association. *European Heart Journal - Cardiovascular Imaging*, 16 (2), 119–146. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeu210>
6. Tiver, K. D., Horsfall, M., Swan, A., De Pasquale, C., Horsfall, E., Chew, D. P., De Pasquale, C. G. (2022). Accuracy of Highly Limited Echocardiographic Screening Images for Determining a Structurally Normal Heart: The Quick-Six Study. *Heart, Lung and Circulation*, 31 (4), 462–468. <https://doi.org/10.1016/j.hlc.2021.08.021>
7. Sicari, R., Gargani, L., Wiecek, A., Covic, A., Goldsmith, D., Suleymanlar, G. et al. (2012). The use of echocardiography in observational clinical trials: the EURECA-m registry. *Nephrology Dialysis Transplantation*, 28 (1), 19–23. <https://doi.org/10.1093/ndt/gfs399>
8. Grenon, V., Szymonifka, J., Adler-Milstein, J., Ross, J., Sarkar, U. (2023). Factors Associated With Diagnostic Error: An Analysis of Closed Medical Malpractice Claims. *Journal of Patient Safety*, 19 (3), 211–215. <https://doi.org/10.1097/pts.0000000000001105>

9. Li, Y., Liu, Z., Lai, Q., Li, S., Guo, Y., Wang, Y. et al. (2022). ESA-UNet for assisted diagnosis of cardiac magnetic resonance image based on the semantic segmentation of the heart. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 9. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.1012450>
10. Madani, A., Arnaout, R., Mofrad, M., Arnaout, R. (2018). Fast and accurate view classification of echocardiograms using deep learning. *Npj Digital Medicine*, 1 (1). <https://doi.org/10.1038/s41746-017-0013-1>
11. Shamir, O. (2018). Are resnets provably better than linear predictors. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1804.06739>
12. Li, Y.-Z., Wang, Y., Huang, Y.-H., Xiang, P., Liu, W.-X., Lai, Q.-Q. et al. (2023). RSU-Net: U-net based on residual and self-attention mechanism in the segmentation of cardiac magnetic resonance images. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 231, 107437. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2023.107437>
13. Ghorbani, A., Ouyang, D., Abid, A., He, B., Chen, J. H., Harrington, R. A. et al. (2020). Deep learning interpretation of echocardiograms. *Npj Digital Medicine*, 3 (1). <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0216-8>
14. Lim, G. B. (2020). Estimating ejection fraction by video-based AI. *Nature Reviews Cardiology*, 17 (6), 320–320. <https://doi.org/10.1038/s41569-020-0375-y>
15. Guo, Z., Zhang, Y., Qiu, Z., Dong, S., He, S., Gao, H. et al. (2023). An improved contrastive learning network for semi-supervised multi-structure segmentation in echocardiography. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 10. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2023.1266260>
16. Vakanski, A., Xian, M. (2021). Evaluation of Complexity Measures for Deep Learning Generalization in Medical Image Analysis. 2021 IEEE 31st International Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP), abs 2012 4115, 1–6. <https://doi.org/10.1109/mlsp52302.2021.9596501>
17. Moradi, S., Oghli, M. G., Alizadehasl, A., Shiri, I., Oveisi, N., Oveisi, M. et al. (2019). MFP-Unet: A novel deep learning based approach for left ventricle segmentation in echocardiography. *Physica Medica*, 67, 58–69. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2019.10.001>
18. Xie, E., Wang, W., Yu, Z., Anandkumar, A., Alvarez, J. M., Luo, P. (2021). Segformer: Simple and efficient design for semantic segmentation with transformers. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2105.15203>
19. Liu, X., Yang, X. (2008). Automatic acquisition of the four-chamber view for 3D echocardiography. *IEICE Electronics Express*, 5 (9), 316–320. <https://doi.org/10.1587/elex.5.316>
20. Ukibassov, B. M., Rakhmetulayeva, S. B., Zhanabekov, Zh. O., Bolshibayeva, A. K., Yasar, A.-U.-H. (2024). Implementation of Anatomy Constrained Contrastive Learning for Heart Chamber Segmentation. *Procedia Computer Science*, 238, 536–543. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.06.057>
21. Zhou, Q., Sun, Z., Wang, L., Kang, B., Zhang, S., Wu, X. (2023). Mixture lightweight transformer for scene understanding. *Computers and Electrical Engineering*, 108, 108698. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2023.108698>
22. Silvestry, F. E., Cohen, M. S., Armsby, L. B., Burkule, N. J., Fleishman, C. E., Hijazi, Z. M., Lang, R. M. et al. (2015). Guidelines for the Echocardiographic Assessment of Atrial Septal Defect and Patent Foramen Ovale: From the American Society of Echocardiography and Society for Cardiac Angiography and Interventions. *Journal of the American Society of Echocardiography*, 28 (8), 910–958. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2015.05.015>
23. Rakhmetulayeva, S. B., Bolshibayeva, A. K., Mukasheva, A. K., Ukibassov, B. M., Zhanabekov, Zh. O., Diaz, D. (2023). Machine learning methods and algorithms for predicting congenital heart pathologies. 2023 IEEE 17th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT). <https://doi.org/10.1109/aict59525.2023.10313184>
24. Jwaid, W. M., Al-Husseini, Z. S. M., Sabry, A. H. (2021). Development of brain tumor segmentation of magnetic resonance imaging (MRI) using U-Net deep learning. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (112)), 23–31.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.314148

COMPARISON OF DEEP LEARNING-BASED MODELS FOR DETECTION OF DISEASED TREES USING AN IMAGE COMPRESSION ALGORITHM (p. 24–35)

Assiya Sarinova

Astana IT University, Business center EXPO, block C1,
Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4254-376X>

Leila Rzayeva

Astana IT University, Business center EXPO, block C1,
Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3382-4685>

Gulnara Abitova

Astana IT University, Business center EXPO, block C1,
Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3830-6905>

Alimzhan Yessenov

Astana IT University, Business center EXPO, block C1,
Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8997-3926>

Ansar Sansyzybayev

Astana IT University, Business center EXPO, block C1,
Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4429-9708>

Yerassyl Omirtay

Astana IT University, Business center EXPO, block C1,
Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5429-865X>

The object of the research is the application of deep learning algorithms using an improved mathematical lossless image compression method for recognizing and identifying dead trees in aerospace images.

The main problem that has been solved is the archiving of images due to their large volume on disk and the possibility of their further processing by deep learning methods such as convolutional and capsule neural networks, which have shown high efficiency and accuracy in image recognition and classification tasks using the proposed new image compression method.

The article presents a comparative analysis of the performance of three YOLO (You Only Look Once) models with different types of architectures, such as YOLOv5, YOLOv7 and YOLOv8, to assess the effectiveness of their work for the task of recognizing aerospace tree images obtained from satellites, drones, and aircrafts.

Comprehensive analysis of YOLO models presents that model YOLO v8 turned out to be most effective with a positive accuracy of 88.2 %, a recall of 77.4 %, and a mAP50 score of 87.2 %. Moreover, the average detection time was only 0.052 seconds for each image, even though the model size remains very small – 21.5 MB. These results suggest a much better usage of time and precise

identification of dead trees, and classified targets with high efficiency.

From the research, there is significant prospects of global forest management especially on forest reduction and protection of ecosystems through accurate assessment on the health of forestry. The proposed approach is universal and can be used in real life conditions, providing a good compromise of the speed, accuracy and resources required for forest monitoring and management.

Keywords: YOLO model, image compression, computer vision, forest management, deep learning.

References

- Kumar, S., Chaudhuri, S., Banerjee, B., Ali, F. (2019). Onboard Hyperspectral Image Compression Using Compressed Sensing and Deep Learning. *Computer Vision – ECCV 2018 Workshops*, 30–42. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11012-3_3
- Wenbin, W., Wu, Y., Li, J. (2018). The Hyper-spectral Image Compression Based on K-Means Clustering and Parallel Prediction Algorithm*. *MATEC Web of Conferences*, 173, 03071. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201817303071>
- Samah, N. A. A., Noor, N. R. M., Bakar, E. A., Desa, M. K. M. (2020). CCSDS-MHC on Raspberry Pi for Lossless Hyperspectral Image Compression. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 943 (1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/943/1/012004>
- Sarinova, A., Zamyatin, A. (2020). Hyperspectral regression lossless compression algorithm of aerospace images. *E3S Web of Conferences*, 149, 02003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014902003>
- Xue, J., Zhao, Y., Liao, W., Chan, J. C.-W. (2019). Nonlocal Tensor Sparse Representation and Low-Rank Regularization for Hyperspectral Image Compressive Sensing Reconstruction. *Remote Sensing*, 11 (2), 193. <https://doi.org/10.3390/rs11020193>
- Fu, W., Li, S., Fang, L., Benediktsson, J. A. (2017). Adaptive Spectral–Spatial Compression of Hyperspectral Image With Sparse Representation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55 (2), 671–682. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2016.2613848>
- Lee, S., Lee, E., Choi, H., Lee, C. (2005). Compression of hyperspectral images with 2D wavelet transform using adjacent information and SPIHT algorithm. *Proceedings. 2005 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2005. IGARSS '05.*, 1, 117–119. <https://doi.org/10.1109/igarss.2005.1526118>
- Cheng, K.-J., Dill, J. C. (2014). An Improved EZW Hyperspectral Image Compression. *Journal of Computer and Communications*, 02 (02), 31–36. <https://doi.org/10.4236/jcc.2014.22006>
- Shen, H., Pan, W. D., Wu, D. (2017). Predictive Lossless Compression of Regions of Interest in Hyperspectral Images With No-Data Regions. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55 (1), 173–182. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2016.2603527>
- Kefalas, N., Theodoridis, G. (2019). Low-memory and high-performance architectures for the CCSDS 122.0-B-1 compression standard. *Integration*, 69, 85–97. <https://doi.org/10.1016/j.vlsi.2018.03.004>
- Davidson, R. L., Bridges, C. P. (2017). GPU accelerated multi-spectral EO imagery optimised CCSDS-123 lossless compression implementation. *2017 IEEE Aerospace Conference*, 1–12. <https://doi.org/10.1109/aero.2017.7943817>
- Ruiz, L., Torres, M., Gómez, A., Díaz, S., González, J. M., Cavas, F. (2020). Detection and Classification of Aircraft Fixation Elements during Manufacturing Processes Using a Convolutional Neural Network. *Applied Sciences*, 10 (19), 6856. <https://doi.org/10.3390/app10196856>
- Belwalkar, A., Nath, A., Dikshit, O. (2018). Spectral-spatial classification of hyperspectral remote sensing images using variational autoencoder and convolution neural network. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII–5, 613–620. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-5-613-2018>
- Maggiori, E., Plaza, A., Tarabalka, Y. (2017). Models for Hyperspectral Image Analysis: From Unmixing to Object-Based Classification. *Mathematical Models for Remote Sensing Image Processing*, 37–80. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66330-2_2
- Pouyanfar, S., Sadiq, S., Yan, Y., Tian, H., Tao, Y., Reyes, M. P. et al. (2018). A Survey on Deep Learning. *ACM Computing Surveys*, 51 (5), 1–36. <https://doi.org/10.1145/3234150>
- Wang, Z., Zhou, Y., Li, G. (2019). Anomaly detection for machinery by using Big Data Real-Time processing and clustering technique. *Proceedings of the 2019 3rd International Conference on Big Data Research*, 5, 30–36. <https://doi.org/10.1145/3372454.3372480>
- Du, H., Zhang, W., Guan, N., Yi, W. (2019). Scope-aware data cache analysis for OpenMP programs on multi-core processors. *Journal of Systems Architecture*, 98, 443–452. <https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2019.04.001>
- Balakrishnan, S., Langerman, D., Gretok, E., George, A. D. (2018). Deep Learning for Hyperspectral Image Classification on Embedded Platforms. *2018 IEEE International Conference on Image Processing, Applications and Systems (IPAS)*, 12, 187–191. <https://doi.org/10.1109/ipas.2018.8708899>
- Ball, J. E., Wei, P. (2018). Deep Learning Hyperspectral Image Classification using Multiple Class-Based Denoising Autoencoders, Mixed Pixel Training Augmentation, and Morphological Operations. *IGARSS 2018 - 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 740, 6903–6906. <https://doi.org/10.1109/igarss.2018.8519368>
- Abramov, N., Ardentov, A., Emeljanova, Ju., Talalaev, A., Fralenko, V., Shishkin, O. (2015). The architecture of the system for spacecraft state monitoring and forecasting. *Program Systems: Theory and Applications*, 6 (2), 85–99. <https://doi.org/10.25209/2079-3316-2015-6-2-85-99>
- Ghamisi, P., Yokoya, N., Li, J., Liao, W., Liu, S., Plaza, J. et al. (2017). Advances in Hyperspectral Image and Signal Processing: A Comprehensive Overview of the State of the Art. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 5 (4), 37–78. <https://doi.org/10.1109/mgrs.2017.2762087>
- Lu, B., Dao, P., Liu, J., He, Y., Shang, J. (2020). Recent Advances of Hyperspectral Imaging Technology and Applications in Agriculture. *Remote Sensing*, 12 (16), 2659. <https://doi.org/10.3390/rs12162659>
- Sarinova, A., Rzayeva, L., Tendikov, N., Shayea, I. (2023). Simple Implementation of Terrain Classification Models via Fully Convolutional Neural Networks. *2023 10th International Conference on Wireless Networks and Mobile Communications (WINCOM)*, 10, 1–6. <https://doi.org/10.1109/wincom59760.2023.10323012>
- Sarinova, A., Dunayev, P., Bekbayeva, A., Mekhtiyev, A., Sariskeyev, Y. (2022). Development of compression algorithms for hyperspectral aerospace images based on discrete orthogonal transformations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(2(115)), 22–30. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251404>

25. Sarinova, A., Neftissov, A., Rzayeva, L., Yessenov, A., Kirichenko, L., Kazambayev, I. (2024). Development of an algorithm for compressing aerospace images for the subsequent recognition and identification of various objects. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (129)), 83–94. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.306973>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.314129

ONTOLOGY MODELING FOR AUTOMATION OF QUESTIONNAIRE DATA PROCESSING (p. 36–52)

Kainizhmal Iklassova

Non-Profit Limited Company «Manash Kozybayev North Kazakhstan University», Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8330-4282>

Aliya Aitymova

Non-Profit Limited Company «Manash Kozybayev North Kazakhstan University», Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1128-6924>

Oxana Kopnova

Non-Profit Limited Company «Manash Kozybayev North Kazakhstan University», Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6299-3728>

Anna Shaporeva

Non-Profit Limited Company «Manash Kozybayev North Kazakhstan University», Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6211-5634>

Gulmira Abildinova

L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9054-6549>

Zhanat Nurbekova

«Abai Kazakh National Pedagogical University», Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0249-7690>

Leila Almagambetova

Branch of the Joint-Stock Company National Center of Professional Development «Orleu» Institute for Professional Development in North Kazakhstan Region», Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6856-1558>

Alexey Gorokhov

Non-Profit Limited Company «Manash Kozybayev North Kazakhstan University», Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9092-0737>

Zhanat Aitymov

Municipal State-Owned Enterprise «Higher Construction and Economic College», Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0451-0644>

The object of this study is the analysis of questionnaire data using ontological modeling. The task relates to the fact that conventional methods for processing questionnaire data are often insufficiently effective when working with large volumes of information and do not make it possible to automate many analysis processes.

As a result of the study, an ontology was designed that structures and analyzes questionnaire data, which allows for a more accurate identification of hidden relationships between variables. Using these theoretical provisions, an information system for assessing the quality of assimilation of preschool children's competencies was built.

150 children from various preschool organizations were involved in the study as respondents. The data integration method proposed in this paper significantly facilitated the process of data analysis both for a group and for an individual respondent.

The key difference of the proposed methodology is the automation of routine data analysis operations based on the ontological structure, which significantly simplifies the processing of large volumes of information. This makes it possible to solve the problem of limitations in conventional analysis methods and makes data analysis more scalable and reproducible.

The practical application of the results is possible in marketing for analyzing customer satisfaction, market segmentation, and evaluating the effectiveness of advertising campaigns. In the educational domain, the ontology could be used to evaluate the quality of programs and analyze respondents' opinions, and in sociology – to analyze public opinion and conduct research on social phenomena.

Thus, the proposed ontology provides an effective tool for analyzing large volumes of questionnaire data, allowing organizations to make more informed decisions and improve their efficiency.

Keywords: ontological modeling, questionnaire data, data integration, automation of decision-making systems, questionnaire data analysis, preschool education.

References

- Hanscom, B., Lurie, J. D., Homa, K., Weinstein, J. N. (2002). Computerized Questionnaires and the Quality of Survey Data. *Spine*, 27 (16), 1797–1801. <https://doi.org/10.1097/00007632-200208150-00020>
- Cartwright, A. (1986). Who responds to postal questionnaires? *Journal of Epidemiology & Community Health*, 40 (3), 267–273. <https://doi.org/10.1136/jech.40.3.267>
- Martin, E., Polivka, A. E. (1995). Diagnostics for Redesigning Survey Questionnaires: Measuring Work in the Current Population Survey. *Public Opinion Quarterly*, 59 (4), 547–567. <https://doi.org/10.1086/269493>
- Chang, R. M., Kauffman, R. J., Kwon, Y. (2014). Understanding the paradigm shift to computational social science in the presence of big data. *Decision Support Systems*, 63, 67–80. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2013.08.008>
- Feijóo, C., Gómez-Barroso, J. L., Voigt, P. (2014). Exploring the economic value of personal information from firms' financial statements. *International Journal of Information Management*, 34 (2), 248–256. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2013.12.005>
- Klee, S., Janson, A., Leimeister, J. M. (2021). How Data Analytics Competencies Can Foster Business Value– A Systematic Review and Way Forward. *Information Systems Management*, 38 (3), 200–217. <https://doi.org/10.1080/10580530.2021.1894515>
- Jansen, B. J., Jung, S., Salminen, J. (2023). Finetuning Analytics Information Systems for a Better Understanding of Users: Evidence of Personification Bias on Multiple Digital Channels. *Information Systems Frontiers*, 26(2), 775–798. <https://doi.org/10.1007/s10796-023-10395-5>
- Tuovinen, L., Smeaton, A. F. (2022). Privacy-aware sharing and collaborative analysis of personal wellness data: Process model, domain ontology, software system and user trial. *PLOS ONE*, 17 (4), e0265997. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265997>
- Alshammari, M., Simpson, A. (2018). Personal Data Management: An Abstract Personal Data Lifecycle Model. *Business Process Man-*

- agement Workshops, 685–697. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74030-0_55
10. Moore, J., Goffin, P., Wiese, J., Meyer, M. (2022). Exploring the Personal Informatics Analysis Gap: “There’s a Lot of Bacon.” *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 28 (1), 96–106. <https://doi.org/10.1109/tvcg.2021.3114798>
 11. Deutch, D., Milo, T. (2011). A quest for beauty and wealth (or, business processes for database researchers). *Proceedings of the thirtieth ACM SIGMOD-SIGACT-SIGART symposium on Principles of database systems (PODS ’11)*. Association for Computing Machinery, New York. <https://doi.org/10.1145/1989284.1989286>
 12. Bellomarini, L., Benedetto, D., Gottlob, G., Sallinger, E. (2022). Vadalog: A modern architecture for automated reasoning with large knowledge graphs. *Information Systems*, 105, 101528. <https://doi.org/10.1016/j.is.2020.101528>
 13. Janssen, M., van der Voort, H., Wahyudi, A. (2017). Factors influencing big data decision-making quality. *Journal of Business Research*, 70, 338–345. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2016.08.007>
 14. Iklassova, K., Aitymova, A., Kopnova, O., Sarzhanova, A., Abildinova, G., Kushumbayev, A., Aitymov, Z. (2024). Construction of a fuzzy model for managing the process of forming IT-competences. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (3 (129)), 32–43. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.306183>
 15. Aitymova, A., Shaporeva, A., Kopnova, O., Kushumbayev, A., Aitymov, Z. (2022). Development and modeling of combined components of the information environment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (2 (116)), 51–60. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255084>
 16. Aitymova, A., Iklassova, K., Abildinova, G., Shaporeva, A., Kopnova, O., Kushumbayev, A. et al. (2023). Development of a model of information process management in the information and educational environment of preschool education organizations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (3 (122)), 95–105. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276253>
 17. Kulikov, V., Iklassova, K., Kazanbayeva, A. (2020). Entropy based decision making method in managing the development of a socioinformational system. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 98 (1), 92–102.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313970

IMPROVING INFORMATION THEORY OF CONTEXT-AWARE PHRASE EMBEDDINGS IN HR DOMAIN

(p. 53–60)

Maiia Bocharova

Odesa I.I. Mechnikov National University, Odesa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3875-5019>

Eugene Malakhov

Odesa I.I. Mechnikov National University, Odesa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9314-6062>

The object of the study is context-aware phrase representations. The growing need to automate candidate recruitment and job recommendation processes has paved the way for the utilization of text embeddings. These embeddings involve translating the semantic essence of text into a continuous, high-dimensional vector space. By learning context-aware rich and meaningful representations of phrases within the human resource domain, the efficacy of similarity searches and matching procedures is enhanced, which contributes

to a more streamlined and effective recruitment process. However, existing approaches do not take into account the context when modeling phrases. This necessitates the improvement of information technology analysis in this area. In this paper, it is proposed to mark the beginning and end of phrases in the text using special tokens. This made it possible to reduce the requirements for computing power by calculating all phrase representations present in the text simultaneously. The effectiveness of the improvement was tested on a new dataset to compare and evaluate the models in the task of modeling phrases in the field of human resources management. The proposed approach to modeling phrase representations with regard to context in the field of human resources management leads to an improvement in computational efficiency by up to 50 % and an increase in accuracy by up to 10 %. The architecture of the machine learning model for creating context-aware phrase representations is developed, which is characterized by the presence of blocks for taking into account phrase boundaries. Experiments and comparisons with existing approaches have confirmed the effectiveness of the proposed solution. In practice, the proposed information analysis technology can be used to automate the process of identifying and normalizing candidates’ skills in online recruiting

Keywords: natural language processing, large language models, text embeddings, information retrieval

References

1. Green, T., Maynard, D., Lin, C. (2022). Development of a benchmark corpus to support entity recognition in job descriptions. *Proceedings of the Thirteenth Language Resources and Evaluation Conference*. Available at: <https://aclanthology.org/2022.lrec-1.128/>
2. Zhang, M., Jensen, K., Sonniks, S., Plank, B. (2022). SkillSpan: Hard and Soft Skill Extraction from English Job Postings. *Proceedings of the 2022 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies*. <https://doi.org/10.18653/v1/2022.naacl-main.366>
3. O*NET OnLine. Available at: <https://www.onetonline.org/>
4. European Skills/Competences, Qualifications and Occupations (ESCO). Available at: <https://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=1326&langId=en>
5. Malakhov, E., Shchelkonogov, D., Mezhyuev, V. (2019). Algorithms of Classification of Mass Problems of Production Subject Domains. *Proceedings of the 2019 8th International Conference on Software and Computer Applications*, 149–153. <https://doi.org/10.1145/3316615.3316676>
6. Prykhodko, S., Prykhodko, N. (2022). A Technique for Detecting Software Quality Based on the Confidence and Prediction Intervals of Nonlinear Regression for RFC Metric. *2022 IEEE 17th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*, 499–502. <https://doi.org/10.1109/csit56902.2022.10000532>
7. Gotthardt, M., Mezhyuev, V. (2022). Measuring the Success of Recommender Systems: A PLS-SEM Approach. *IEEE Access*, 10, 30610–30623. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3159652>
8. Pro zastosuvannia anhliskyoi movy v Ukraini. Dokument 3760-IX. Pryiniattia vid 04.06.2024. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3760-20#Text>
9. Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N. et al. (2017). Attention is all you need. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.03762>

10. Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. Proceedings of the 2019 Conference of the North. <https://doi.org/10.18653/v1/n19-1423>
11. Reimers, N., Gurevych, I. (2019). Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks. Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and the 9th International Joint Conference on Natural Language Processing (EMNLP-IJCNLP). <https://doi.org/10.18653/v1/d19-1410>
12. Wang, S., Thompson, L., Iyyer, M. (2021). Phrase-BERT: Improved Phrase Embeddings from BERT with an Application to Corpus Exploration. Proceedings of the 2021 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. <https://doi.org/10.18653/v1/2021.emnlp-main.846>
13. Cer, D., Diab, M., Agirre, E., Lopez-Gazpio, I., Specia, L. (2017). SemEval-2017 Task 1: Semantic Textual Similarity Multilingual and Crosslingual Focused Evaluation. Proceedings of the 11th International Workshop on Semantic Evaluation (SemEval-2017). <https://doi.org/10.18653/v1/s17-2001>
14. Cohen, A., Gonen, H., Shapira, O., Levy, R., Goldberg, Y. (2022). McPhraSy: Multi-Context Phrase Similarity and Clustering. Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2022, 3538–3550. <https://doi.org/10.18653/v1/2022.findings-emnlp.259>
15. Decorte, J.-J., Van Haute, J., Demeester, T., Develder, C. (2021). JobBERT: Understanding job titles through skill. International workshop on Fair, Effective And Sustainable Talent management using data science (FEAST) as part of ECML-PKDD 2021. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2109.09605>
16. Decorte, J.-J., Van Haute, J., Deleu, J., Develder, C., Demeester, T. (2022). Design of negative sampling strategies for distantly supervised skill extraction. 2nd Workshop on Recommender Systems for Human Resources (RecSys in HR 2022) as part of RecSys 2022. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2209.05987>
17. Bhola, A., Halder, K., Prasad, A., Kan, M.-Y. (2020). Retrieving Skills from Job Descriptions: A Language Model Based Extreme Multi-label Classification Framework. Proceedings of the 28th International Conference on Computational Linguistics. <https://doi.org/10.18653/v1/2020.coling-main.513>
18. Djumalieva, J., Sleeman, C. (2018). An Open and Data-driven Taxonomy of Skills Extracted from Online Job Adverts. Developing Skills in a Changing World of Work, 425–454. <https://doi.org/10.5771/9783957103154-425>
19. Decorte, J.-J., Verlinden, S., Van Haute, J., Deleu, J., Develder, C., Demeester, T. (2020). Extreme Multi-Label Skill Extraction Training using Large Language Models. International workshop on AI for Human Resources and Public Employment Services (AI4HR&PES) as part of ECML-PKDD 2023. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.10778>
20. Günther, M., Mastrapas, G., Wang, B., Xiao, H., Geuter, J. (2023). Jina Embeddings: A Novel Set of High-Performance Sentence Embedding Models. Proceedings of the 3rd Workshop for Natural Language Processing Open Source Software (NLP-OSS 2023), 8–18. <https://doi.org/10.18653/v1/2023.nlposs-1.2>
21. Mashtalir, S. V., Nikolenko, O. V. (2023). Data preprocessing and tokenization techniques for technical Ukrainian texts. Applied Aspects of Information Technology, 6 (3), 318–326. <https://doi.org/10.15276/aait.06.2023.22>
22. Bojanowski, P., Grave, E., Joulin, A., Mikolov, T. (2017). Enriching Word Vectors with Subword Information. Transactions of the Association for Computational Linguistics, 5, 135–146. https://doi.org/10.1162/tacl_a_00051
23. Lee, K., Ippolito, D., Nystrom, A., Zhang, C., Eck, D., Callison-Burch, C., Carlini, N. (2022). Deduplicating Training Data Makes Language Models Better. Proceedings of the 60th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers). <https://doi.org/10.18653/v1/2022.acl-long.577>
24. Wang, L., Yang, N., Huang, X., Jiao, B., Yang, L., Jiang, D. et al. (2022). Text embeddings by weakly-supervised contrastive pre-training. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2212.03533>
25. Xiao, S., Liu, Z., Shao, Y., Cao, Z. (2022). RetroMAE: Pre-Training Retrieval-oriented Language Models Via Masked Auto-Encoder. Proceedings of the 2022 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. <https://doi.org/10.18653/v1/2022.emnlp-main.35>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313531

ORGANIZING THE AUTOMATED SYSTEM OF DISPATCH CONTROL OVER PUMP UNITS AT WATER PUMPING STATIONS (p. 61–75)

Leonid Zamikhovskiy

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
Ivano-Frankivsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6374-8580>

Mykola Nykolaychuk

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
Ivano-Frankivsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6185-2272>

Ivan Levytskyi

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
Ivano-Frankivsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6538-7734>

The design and operation of modern dispatch control systems for pumping units involves comprehensive solution to separate engineering, technical, and scientific problems.

The object of research is information processes enabling the operational modes of electrically driven pumping units at water pumping stations.

This paper solves the scientific and technical task related to developing topology, hardware, and software tools, control algorithms, dispatch interface, and researching the modes of operation of pumping units in dispatch control systems at water pumping stations.

Algorithms for controlling pumping units have been implemented, the advantage of which is the possibility of automated calculation of parameters for technological PID-controllers, taking into account the current electrical parameters of the frequency-controlled electric drive of pumping units and operating conditions.

The WEB-oriented dispatch interface of the SCADA-based pumping unit control system was designed and tested, which enables control process in real time.

Features of the developed dispatch control system are improved topology, expanded functionality, energy-saving control modes, and the possibility of further modernization based on the principles of standardization and unification of hardware and software tools and design procedures.

The developed dispatch control system for pumping units at water pumping stations has been implemented and is successfully operated at an industrial water supply enterprise.

The results provided for an increase in technical and economic indicators during the operation of technological equipment due to the efficiency of control and management procedures, energy-saving operational modes of the frequency-controlled electric drive of pumping units.

Keywords: water supply, topology, pump unit, PLC, SCADA, TIA Portal, Sinamics, PID.

References

1. Syufrijal, S., Rifan, M., Media's, E. (2019). Construction design system of constant pressure control in water distribution system with PID method using PLC based on IoT. *Journal of Physics: Conference Series*, 1402 (2), 022060. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/2/022060>
2. Ta, V.-P., Truong, D.-N., Nhan, N.-T. (2022). An Innovative Approach for Water Distribution Systems. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 32 (3), 1605–1615. <https://doi.org/10.32604/iasc.2022.022374>
3. Taimaingam, S., Pannil, P. (2024). Comprehensive performance evaluation of profibus and profinet in PLC-based control systems. (2024) *ICIC Express Letters. Part B: Applications*, 15 (7), 687–699. <https://doi.org/10.24507/iceelb.15.07.687>
4. Vadi, S., Bayindir, R., Toplar, Y., Colak, I. (2022). Induction motor control system with a Programmable Logic Controller (PLC) and Profibus communication for industrial plants – An experimental setup. *ISA Transactions*, 122, 459–471. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2021.04.019>
5. Kaittan, K. H., Mohammed, S. J. (2024). PLC-SCADA Automation of Inlet Wastewater Treatment Processes: Design, Implementation, and Evaluation. *Journal Européen Des Systèmes Automatisés*, 57 (3), 787–796. <https://doi.org/10.18280/jesa.570317>
6. Hasan, B., Mohani, S. S.-H., Hussain, S. S., Yasin, S., Alvi, W. A., Saeed, O. (2019). Implementation of Supervisory Control and Data Acquisition - SCADA on a PLC and VFD Controlled Digital Mixing Plant Using TIA Portal. 2019 4th International Conference on Emerging Trends in Engineering, Sciences and Technology (ICEEST), 2, 1–6. <https://doi.org/10.1109/iceest48626.2019.8981705>
7. V.K., A. S., Subramaniam, U., Madurai Elavarasan, R., Raju, K., Shanmugam, P. (2021). Sensorless parameter estimation of VFD based cascade centrifugal pumping system using automatic pump curve adaption method. *Energy Reports*, 7, 453–466. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.01.002>
8. Ahmed, A., Moharam, B., Rashad, E. (2018). Power Saving of Multi Pump-Motor Systems Using Variable Speed Drives. 2018 Twentieth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), 839–844. <https://doi.org/10.1109/mepcon.2018.8635157>
9. Rata, M., Rata, G. (2018). An Efficient Method for Studying the Motion Graphs optimization in Electric Drive Systems. 2018 International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE), ii, 0465–0469. <https://doi.org/10.1109/icepe.2018.8559808>
10. Grecu, D.-L., Popescu, S.-L. (2015). Hard/Soft simulator for electric engines controlled with Siemens automates. 2015 7th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), P-109-P-116. <https://doi.org/10.1109/ecai.2015.7301263>
11. Salkić, A., Muhović, H., Jokić, D. (2022). Siemens S7-1200 PLC DC Motor control capabilities. *IFAC-Papers OnLine*, 55 (4), 103–108. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.06.017>
12. Zhengtang, L., Xiangdong, L., Lin, Z. (2020). The motor testing system design based on SINAMICS S120 inverter. *Journal of Physics: Conference Series*, 1550 (4), 042074. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1550/4/042074>
13. Beran, L., Diblík, M. (2016). Indirect torque measurement using industrial vector control frequency converter. 2016 17th International Carpathian Control Conference (ICCC), 1, 48–53. <https://doi.org/10.1109/carpathiancc.2016.7501065>
14. Daniun, M., Awtoniuk, M., Salat, R. (2017). Implementation of PID autotuning procedure in PLC controller. *ITM Web of Conferences*, 15, 05009. <https://doi.org/10.1051/itmconf/20171505009>
15. Gabor, G., Livint, G. (2022). Implementation of a PID Controller Using Siemens PLC. 2022 International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE), 593–596. <https://doi.org/10.1109/epe56121.2022.9959869>
16. Slavicek, L., Balda, P., Schlegel, M. (2021). Comparison of Siemens and REX Controls PI(D) Autotuners. 2021 23rd International Conference on Process Control (PC), 1, 212–218. <https://doi.org/10.1109/pc52310.2021.9447480>
17. Elizabeth, S.-J., Wilson, S.-O., Ana, T.-P., José, T.-C. (2024). Proportional Integral and Derivative Auto Tuning of Industrial Controllers Using the Relay Feedback Method. *Good Practices and New Perspectives in Information Systems and Technologies*, 96–107. https://doi.org/10.1007/978-3-031-60227-6_9
18. SIMATIC STEP 7 Basic/Professional V17 and SIMATIC WinCC V17. Available at: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109798671/simatic-step-7-basic-professional-v17-and-simatic-wince-v17?dti=0&lc=en-UA>
19. Zamikhovskiy, L. M., Nykolaichuk, M. Ya., Levytskyi, I. T. (2017). Avtomatyzovana systema chastotnoho keruvannia nasosnykh ahrehaty z funktsiyamy dyspetcheryzatsiyi. *Intelektualnyi produkt vchenykh, vynakhidnykh i ratsionalizatoriv Prykarpattia. Shchorychnyi katalog naivahomishykh vynakhodiv, korysnykh modelei, promyslovykh zrazkiv i ratsionalizatorskykh propozyziy. Ivano-Frankivsk*, 77–81.
20. Function Manual. Simatic. Profinet. PROFINET with STEP 7. Available at: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/856/49948856/att_897210/v1/profinet_step7_v18_function_manual_en-US_en-US.pdf
21. SIMATIC S7 S7-1200 Programmable controller. Available at: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109797241/simatic-s7-s7-1200-programmable-controller?dti=0&lc=en-UA>
22. SINAMICS G: Speed Control of a G110M/G115D/G120 with S7-1200 via PROFINET with Safety Integrated and HMI. Available at: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/70155469/sinamics-g-speed-control-of-a-g110m-g115d-g120-with-s7-1200-via-profinet-with-safety-integrated-and-hmi?dti=0&lc=en-UA>
23. Bee, L. (2022). PLC and HMI Development with Siemens TIA Portal. Develop PLC and HMI programs using standard methods and structured approaches with TIA Portal V17. Packt Publishing Ltd., 436.
24. PID control with PID_Compact. SIMATIC S7-1200 / S7-1500 + TIA Portal V17. Entry-ID: 100746401, V3.0, 12/2022. Available at: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/401/100746401/att_1124946/v2/100746401_S71x00_PidCompact_DOC_V3.0_en.pdf
25. PID Control with PID_Compact for SIMATIC S7-1200 / S7-1500. Available at: https://support.industry.siemens.com/cs/document/100746401/pid-control-with-pid_compact-for-simatic-s7-1200-s7-1500?dti=0&lc=en-US

26. SINAMICS G: Controlling a speed axis with the “SINA_SPEED” block. Available at: https://support.industry.siemens.com/cs/document/109485727/sinamics-g-controlling-a-speed-axis-with-the-%E2%80%9Csina_speed%E2%80%9D-block?dti=0&lc=en-UA
27. Closed-Loop Control of Simulated Controlled Systems in the S7-1500 with PID_Compact V2. Available at: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/79047707/closed-loop-control-of-simulated-controlled-systems-in-the-s7-1500-with-pid-compact-v2?dti=0&lc=en-UA>
28. Nykolaichuk, M. Ya. (2014). Orhanizatsiya i doslidzhennia elementiv komunikatsynoho seredovyshcha WEB-orientovanykh system upravlinnia rozpodilennykh tekhnolohichnykh ob'ektamy. *Metody ta pryklady kontroliu yakosti*, 2 (33), 133–138. Available at: <http://clar.nung.edu.ua/handle/123456789/3344>
29. SIMATIC HMI WinCC (TIA Portal) WinCC Engineering V17 – Communication. Available at: [https://support.industry.siemens.com/cs/document/109794203/simatic-hmi-wincc-\(tia-portal\)-wincc-engineering-v17-%E2%80%93communication?dti=0&lc=en-UA](https://support.industry.siemens.com/cs/document/109794203/simatic-hmi-wincc-(tia-portal)-wincc-engineering-v17-%E2%80%93communication?dti=0&lc=en-UA)
30. SIMATIC HMI WinCC (TIA Portal) WinCC Engineering V17 – Options. Available at: [https://support.industry.siemens.com/cs/document/109794201/simatic-hmi-wincc-\(tia-portal\)-wincc-engineering-v17-%E2%80%93options?dti=0&lc=en-UA](https://support.industry.siemens.com/cs/document/109794201/simatic-hmi-wincc-(tia-portal)-wincc-engineering-v17-%E2%80%93options?dti=0&lc=en-UA)

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.309725

DEVELOPING A NEURAL NETWORK MODEL TO PREDICT THE OPTIMAL MINIMUM FLOW RATE FOR EFFECTIVE HOLE CLEANING (p. 76–89)

Dinara Delikesheva
Satbayev University,
Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5442-4763>

Erbol Essembayev
Kazakh-British Technical University,
Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0813-3365>

Aizada Sharauova
Atyrau Oil and Gas University named after Safi Utebayev,
Atyrau, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5994-8184>

Jamilyam Ismailova
Satbayev University,
Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7680-7084>

Nurlan Zaripov
Atyrau Oil and Gas University named after Safi Utebayev,
Atyrau, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8305-3885>

The object of the study is effective well cleaning during drilling. The subject of the study is the development of a machine learning model based on a neural network for predicting the optimal minimum drilling fluid flow rate. The challenge is the need to improve well cleaning efficiency to prevent stuck pipes and the associated downtime and costs.

During the study, a neural network model was developed and tested to predict the minimum flow rate for cleaning wells. The model was trained and tested on data showing its high accuracy and reliability. The mean square error (MSE) reached 0.019169 for LSTM

and 0.0828 for GRU, indicating the accuracy of the predictions. Neural network architectures such as Long-Short Term Memory (LSTM) and Gated Recurrent Unit (GRU) were used to efficiently process time series of data and consider long-term dependencies.

The results are explained using advanced neural network architectures and machine learning algorithms, which made it possible to achieve good accuracy of predictions. These architectures enable efficient model training on large amounts of data, allowing complex dependencies and influencing factors to be considered.

Distinctive features of the results include good accuracy of predictions and the ability to use the model in real-world conditions. The model demonstrates good performance and reliability in predicting the minimum flow rate.

The results of the study can be used to optimize the processes of well drilling. Practical applications include using the model to predict the optimal minimum flow rate in various conditions, which will reduce the risks of stuck pipes and increase the efficiency of drilling operations. The model can be integrated into existing monitoring and control systems for drilling processes to improve their performance.

Keywords: well drilling, hole cleaning, pipe sticking prevention, neural network, machine learning, minimum flow rate.

References

- Muqem, M. A., Weekse, A. E., Al-Hajji, A. A. (2012). Stuck Pipe Best Practices – A Challenging Approach to Reducing Stuck Pipe Costs. All Days. <https://doi.org/10.2118/160845-ms>
- Abdelhalim, K., Al Zaabi, M., Al Ali, S., Abdel Karim, I. khaled, Jadallah, H., Al Beshr, A. R., Endo, S. (2021). A Challenging Drilling Campaign Unleashed a Unique Fast Drill String Recovery Methodology Eliminating Utilizing Wireline, CT and Overcome Highly Deviated String Accessibility. <https://doi.org/10.2118/202153-ms>
- Malekzadeh, N., Mohammadsalehi, M. (2011). Hole Cleaning Optimization in Horizontal Wells, a New Method to Compensate Negative Hole Inclination Effects. All Days. <https://doi.org/10.2118/143676-ms>
- Busahmin, B., Saeid, N. H., Hasan, U. H. B. H., Alusta, G. (2017). Analysis of Hole Cleaning for a Vertical Well. OALib, 04 (05), 1–10. <https://doi.org/10.4236/oalib.1103579>
- Biletskiy, M. T., Ratov, B. T., Syzdykov, A. Kh., Delikesheva, D. N. (2019). Express method for measuring the drilling muds rheological parameters. 19th SGEM International Multidisciplinary Scientific GeoConference EXPO Proceedings 19th, Science and Technologies in Geology, Exploration And Mining. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/1.2/s06.109>
- O'Brien, T. B., Dobson, M. (1985). Hole Cleaning: Some Field Results. All Days. <https://doi.org/10.2118/13442-ms>
- Mohammadsalehi, M., Malekzadeh, N. (2011). Optimization of Hole Cleaning and Cutting Removal in Vertical, Deviated and Horizontal Wells. SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, 3. <https://doi.org/10.2118/143675-ms>
- Ahmed, R. M., Takach, N. E. (2009). Fiber Sweeps for Hole Cleaning. SPE Drilling & Completion, 24 (04), 564–573. <https://doi.org/10.2118/113746-pa>
- Al-Azani, K., Elkatatny, S., Ali, A., Ramadan, E., Abdulraheem, A. (2019). Cutting concentration prediction in horizontal and deviated wells using artificial intelligence techniques. Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, 9 (4), 2769–2779. <https://doi.org/10.1007/s13202-019-0672-3>

10. Mahmoud, H., Hamza, A., Nasser, M. S., Hussein, I. A., Ahmed, R., Karami, H. (2020). Hole cleaning and drilling fluid sweeps in horizontal and deviated wells: Comprehensive review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 186, 106748. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106748>
11. Rasi, M. (1994). Hole Cleaning in Large, High-Angle Wellbores. *All Days*. <https://doi.org/10.2118/27464-ms>
12. Saini, G. S., Pournazari, P., Ashok, P., van Oort, E. (2022). Intelligent Action Planning for Well Construction Operations Demonstrated for Hole Cleaning Optimization and Automation. *Energies*, 15 (15), 5749. <https://doi.org/10.3390/en15155749>
13. Awojinrin, G. T. (2022). Machine Learning Workflow for the Determination of Hole Cleaning Conditions. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. <https://doi.org/10.2118/212381-stu>
14. Busahmin, B., Saeid, N. H., Alusta, G., Zahran, E. S. M. M. (2017). Review on hole cleaning for horizontal wells. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12 (16), 4697–4708.
15. Nivlet, P., Bjorkevoll, K. S., Tabib, M., Skogestad, J. O., Lund, B., Nybo, R., Rasheed, A. (2023). Towards Real-Time Bad Hole Cleaning Problem Detection Through Adaptive Deep Learning Models. *Middle East Oil, Gas and Geosciences Show*. <https://doi.org/10.2118/213643-ms>
16. Al-Rubaii, M. M., Gajbhiye, R. N., Al-Yami, A., Alshalan, M., Al-Awami, M. B. (2020). Automated Evaluation of Hole Cleaning Efficiency While Drilling Improves Rate of Penetration. *International Petroleum Technology Conference*. <https://doi.org/10.2523/iptc-19809-ms>
17. Du, K.-L., Swamy, M. N. S. (2013). Recurrent Neural Networks. *Neural Networks and Statistical Learning*, 337–353. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5571-3_11
18. Das, K., Jiang, J., Rao, J. N. K. (2004). Mean squared error of empirical predictor. *The Annals of Statistics*, 32 (2). <https://doi.org/10.1214/009053604000000201>
19. Butt, A. M., Alsaffar, H., Alshareef, M., Qureshi, K. K. (2022). AI Prediction of Brain Signals for Human Gait Using BCI Device and FBG Based Sensorial Platform for Plantar Pressure Measurements. *Sensors*, 22 (8), 3085. <https://doi.org/10.3390/s22083085>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313627

DESIGN OF THE PREDICTIVE MANAGEMENT AND CONTROL SYSTEM FOR COMBINED PROPULSION COMPLEX (p. 90–102)

Vitalii Budashko

National University «Odessa Maritime Academy»,
Odesa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4873-5236>

Albert Sandler

National University «Odessa Maritime Academy»,
Odesa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0709-0542>

Sergii Khniunin

National University «Odessa Maritime Academy»,
Odesa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5941-5372>

Bogach Valentyn

National University «Odessa Maritime Academy»,
Odesa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0822-0003>

The object of this researching is the process of maneuvering a sea-based vehicle under compressed conditions, which requires one hundred percent reserve of thrusters (THR) of various modifications and locations. The main problem is the provision of energy-efficient control over the ship's motion at low speed in the horizontal plane using a high-level predictive controller. The hierarchy of the motion control system (MCS) is usually divided into several levels with the help of a high-level motion controller and the THR motor control distribution algorithm. This allows for a modular software structure where a high-level controller (HLC) can be designed without using comprehensive information about the THR motors. However, for a certain reference of THR configurations, such a decoupling can lead to reduced control performance due to the limitations of HLC regarding the physical constraints of the vessel and the behavior of MCS.

The main results of the researching are methods to improve control performance using a nonlinear model predictive control (MPC) as a basis for the designed motion controllers due to its optimized solution and ability to consider constraints. A decoupled system was implemented for two simple motor tasks showing dissociation problems. The shortcomings were eliminated through the development of a nonlinear MPC controller, which combines the motion controller and the distribution of control over THR motors. To preserve the discrete modularity of the control system and achieve adequate performance, a nonlinear MPC controller with time-varying constraints was designed. This has made it possible to take into account the current limitations of the THR control system, increase the accuracy of control, and reduce the response time of the system by 10 %.

Keywords: propulsion system, predictive control, distributed system, high-level controller.

References

1. Budashko, V. (2017). Formalization of design for physical model of the azimuth thruster with two degrees of freedom by computational fluid dynamics methods. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (87)), 40–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101298>
2. Fossen, T. I. (2021). *Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119575016>
3. van Goor, P., Hamel, T., Mahony, R. (2023). Constructive Equivariant Observer Design for Inertial Navigation. *IFAC-PapersOnLine*, 56 (2), 2494–2499. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.10.1229>
4. Maidana, R. G., Kristensen, S. D., Utne, I. B., Sørensen, A. J. (2023). Risk-based path planning for preventing collisions and groundings of maritime autonomous surface ships. *Ocean Engineering*, 290, 116417. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.116417>
5. Bekker, J. R., Dou, S. X. (2002). A Packaged System Approach to DP Vessel Conversion. *Dynamic Positioning Conference*. Available at: http://dynamic-positioning.com/proceedings/dp2002/workboats_packaged_system.pdf
6. Cozijn, H., Hallmann, R., Koop, A. (2010). Analysis of the velocities in the wake of an azimuthing thruster, using PIV measurements and CFD calculations. *Dynamic positioning conference: thrusters session*. Available at: https://dynamic-positioning.com/proceedings/dp2010/thrusters_cozijn.pdf

7. Furmanik, M., Konvičný, D., Rafajdus, P. (2023). Low-Speed Sensorless Control for Six-Phase PMSM Based on Magnetic Anisotropy. *Transportation Research Procedia*, 74, 892–899. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.222>
8. Hemalatha, N., Venkatesan, S., Kannan, R., Kannan, S., Bhuvanesh, A., Kamaraja, A. S. (2024). Sensorless speed and position control of permanent magnet BLDC motor using particle swarm optimization and ANFIS. *Measurement: Sensors*, 31, 100960. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2023.100960>
9. Sun, L. (2022). Low speed sensorless control method of brushless DC motor based on pulse high frequency voltage injection. *Alexandria Engineering Journal*, 61(8), 6457–6463. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.12.005>
10. Budashko, V., Sandler, A., Khniunin, S. (2023). Improving the method of linear-quadratic control over a physical model of vessel with azimuthal thrusters. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (2 (121)), 49–71. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.273934>
11. de A. Fernandes, D., Sorensen, A. J., Donha, D. C. (2013). Trajectory Tracking Motion Control System for Observation Class ROVs. *IFAC Proceedings Volumes*, 46 (33), 251–256. <https://doi.org/10.3182/20130918-4-jp-3022.00025>
12. Houska, B., Ferreau, H. J., Diehl, M. (2011). ACADO toolkit – An open-source framework for automatic control and dynamic optimization. *Optimal Control Applications and Methods*, 32 (3), 298–312. <https://doi.org/10.1002/oca.939>
13. Johansen, T. A., Fossen, T. I. (2013). Control allocation – A survey. *Automatica*, 49 (5), 1087–1103. <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2013.01.035>
14. Yari, E., Ghassemi, H. (2016). Hydrodynamic analysis of the surface-piercing propeller in unsteady open water condition using boundary element method. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 8 (1), 22–37. <https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2015.09.002>
15. Budashko, V., Sandler, A., Shevchenko, V. (2022). Diagnosis of the Technical Condition of High-tech Complexes by Probabilistic Methods. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 16 (1), 105–111. <https://doi.org/10.12716/1001.16.01.11>
16. Glad, T., Ljung, L. (2018). *Control Theory*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315274737>
17. Budashko, V. (2020). Thrusters Physical Model Formalization with regard to Situational and Identification Factors of Motion Modes. *2020 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE)*, 10, 1–6. <https://doi.org/10.1109/icecce49384.2020.9179301>
18. Brezina, A., Thomas, S. (2013). Measurement of Static and Dynamic Performance Characteristics of Electric Propulsion Systems. *51st AIAA Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition*. <https://doi.org/10.2514/6.2013-500>
19. Bucknall, R. W. G., Ciaramella, K. M. (2010). On the Conceptual Design and Performance of a Matrix Converter for Marine Electric Propulsion. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 25 (6), 1497–1508. <https://doi.org/10.1109/tpel.2009.2037961>
20. Zhong, Y., Yu, C., Bai, Y., Zeng, Z., Lian, L. (2024). Diving dynamics identification and motion prediction for marine crafts using field data. *Journal of Ocean Engineering and Science*, 9 (4), 391–400. <https://doi.org/10.1016/j.joes.2023.12.001>
21. Abdessameud, A., Polushin, I. G., Tayebi, A. (2015). Motion coordination of thrust-propelled underactuated vehicles with intermittent and delayed communications. *Systems & Control Letters*, 79, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.sysconle.2015.02.006>
22. Babadi, M. K., Ghassemi, H. (2013). Effect of hull form coefficients on the vessel sea-keeping performance. *Journal of Marine Science and Technology*. – 2013. – 11 p. <https://doi.org/10.6119/JMST-013-0117-2>
23. Budashko, V., Sandler, A., Shevchenko, V. (2022). Optimization of the control system for an electric power system operating on a constant-power hyperbole. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (8 (115)), 6–17. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252172>
24. Carrera, A., Palomeras, N., Hurtós, N., Kormushev, P., Carreras, M. (2015). Cognitive system for autonomous underwater intervention. *Pattern Recognition Letters*, 67, 91–99. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2015.06.010>
25. Budashko, V., Golikov, V. (2017). Theoretical-applied aspects of the composition of regression models for combined propulsion complexes based on data of experimental research. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (3 (88)), 11–20. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.107244>
26. Myrhorod, V., Hvozdeva, I., Budashko, V. (2020). Multi-parameter Diagnostic Model of the Technical Conditions Changes of Ship Diesel Generator Sets. *2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP)*, 1895, 1–4. <https://doi.org/10.1109/paep49887.2020.9240905>
27. Budashko, V., Shevchenko, V. (2021). The synthesis of control system to synchronize ship generator assemblies. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (2 (109)), 45–63. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225517>
28. Budashko, V., Shevchenko, V. (2021). Solving a task of coordinated control over a ship automated electric power system under a changing load. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (2 (110)), 54–70. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229033>
29. Sandler, A., Budashko, V. (2022). Improving tools for diagnosing technical condition of ship electric power installations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (5 (119)), 25–33. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266267>
30. Sandler, A., Budashko, V., Khniunin, S., Bogach, V. (2023). Improving the mathematical model of a fiber-optic inclinometer for vibration diagnostics of elements in the propulsion system with sliding bearings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (5 (125)), 24–31. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.289773>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.308928

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELING OF A MOBILE ROBOT'S MOTION CONTROL SYSTEM (p. 103–111)

Zhanibek Issabekov

Abay Myrzakhmetov Kokshetau University,
Kokshetau, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2900-8025>

Aldabergen Bektilevov

Satbayev University,
Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0865-6023>

Vinera Baiturganova

Satbayev University,
Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1717-5041>

Makhabbat Zhamuratova

Satbayev University,
Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0203-2538>

Perizat Rakhmetova

Satbayev University,
Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5645-5157>

This study focuses on developing a mathematical model for precise control and stabilization of unmanned aerial vehicles (UAVs) in various spatial conditions. Addressing the problem of achieving precise control and stability, the proposed solution designs a control system based on a linear-quadratic controller (LQR) and simulates it using a proportional-derivative (PD) controller implemented in Matlab/Simulink. The results demonstrate high precision and stability in controlling the UAV motion parameters – roll, pitch, yaw, and altitude. This important level of performance is achieved due to the adaptivity of the LQR-based control system, which optimizes control actions according to the unsteady dynamics of the UAV. The integration of the PD controller improves responsiveness and stability, providing precise motion control over a range of spatial states. These features effectively solve the problem by handling the complex dynamics of the UAV and providing precise control. The results are explained by the ability of the LQR to provide optimal control laws that minimize deviations using a quadratic cost function, while the PD controller quickly corrects errors and responds to disturbances. The benefits of this approach include a significant reduction in control errors by about 25–30 %, increased response speed to external disturbances, and reduced computational latency due to efficient processing compared to more resource-intensive methods such as model predictive control. The developed mathematical model can be applied in practice in conditions requiring robust real-time control and adaptation to dynamic changes in the environment. It is especially suitable for industries such as logistics, surveillance, and environmental monitoring, providing an effective and optimal solution for stabilizing and controlling the motion of UAVs in various spatial states. This approach improves the performance of UAVs and expands their capabilities in various operating conditions.

Keywords: unmanned aerial vehicle, mathematical model, linear-quadratic regulator, proportional-derivative, control and stability.

References

- Wang, Z., Li, P., Li, Q., Wang, Z., Li, Z. (2023). Motion Planning Method for Car-Like Autonomous Mobile Robots in Dynamic Obstacle Environments. *IEEE Access*, 11, 137387–137400. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3339539>
- Issabekov, Z., Aldiyarov, N. (2021). Developing the Mathematical Model of the Bipedal Walking Robot Executive Mechanism. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12 (12). <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2021.0121240>
- Reyes-Rubiano, L., Voegl, J., Hirsch, P. (2022). An Online Algorithm for Routing an Unmanned Aerial Vehicle for Road Network Exploration Operations after Disasters under Different Refueling Strategies. *Algorithms*, 15 (6), 217. <https://doi.org/10.3390/a15060217>
- Altay, Y. A., Lyamin, A. V., Kelemseiit, N. E., Skakov, D. M. (2023). Cascade Notch Filter with a Unity Feedback and Improved Transient Response. *2023 V International Conference on Control in Technical Systems (CTS)*, 1, 217–220. <https://doi.org/10.1109/cts59431.2023.10288775>
- Colomina, I., Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79–97. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>
- Rakhmetova, P., Shingissov, B., Torgaev, A., Yussupova, S., Kaliyev, Y. (2024). Artificial vision for manipulators: A review. *International Conference on Environmental, Mining, and Sustainable Development 2022*, 3001, 060015. <https://doi.org/10.1063/5.0195816>
- Rafeeq, M., Toha, S. F., Ahmad, S., Razib, M. A. (2021). Locomotion Strategies for Amphibious Robots-A Review. *IEEE Access*, 9, 26323–26342. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3057406>
- Zhu, K., Zhang, T. (2021). Deep reinforcement learning based mobile robot navigation: A review. *Tsinghua Science and Technology*, 26 (5), 674–691. <https://doi.org/10.26599/tst.2021.9010012>
- Alatise, M. B., Hancke, G. P. (2020). A Review on Challenges of Autonomous Mobile Robot and Sensor Fusion Methods. *IEEE Access*, 8, 39830–39846. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2975643>
- Zhang, B., Sengoku, R., Lim, H.-O. (2023). Adaptive Motion Control for an Autonomous Mobile Robot Based on Space Risk Map. *IEEE Access*, 11, 69553–69562. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3292999>
- Azizi, M. R., Rastegarpanah, A., Stolkin, R. (2021). Motion Planning and Control of an Omnidirectional Mobile Robot in Dynamic Environments. *Robotics*, 10 (1), 48. <https://doi.org/10.3390/robotics10010048>
- Gong, H., Huang, B., Jia, B., Dai, H. (2023). Modeling Power Consumptions for Multirotor UAVs. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 59 (6), 7409–7422. <https://doi.org/10.1109/taes.2023.3288846>
- Zhao, J. (2023). Quadrotor's modeling and control system design based on PID control. *Journal of Physics: Conference Series*, 2483 (1), 012034. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2483/1/012034>
- Bangura, M., Mahony, R. (2014). Real-time Model Predictive Control for Quadrotors. *IFAC Proceedings Volumes*, 47 (3), 11773–11780. <https://doi.org/10.3182/20140824-6-za-1003.00203>
- An, C., Jia, S., Zhou, J., Wang, C. (2022). Fast Model-Free Learning for Controlling a Quadrotor UAV With Designed Error Trajectory. *IEEE Access*, 10, 79669–79680. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3194276>
- Abdulkareem, A., Oguntosin, V., Popoola, O. M., Idowu, A. A. (2022). Modeling and Nonlinear Control of a Quadcopter for Stabilization and Trajectory Tracking. *Journal of Engineering*, 2022, 1–19. <https://doi.org/10.1155/2022/2449901>
- Pachayappan, M., Sundarakani, B. (2022). Drone delivery logistics model for on-demand hyperlocal market. *International Journal of*

- Logistics Research and Applications, 26 (12), 1728–1760. <https://doi.org/10.1080/13675567.2022.2107189>
18. Toscano, F., Fiorentino, C., Capece, N., Erra, U., Travascia, D., Scopa, A. et al. (2024). Unmanned Aerial Vehicle for Precision Agriculture: A Review. *IEEE Access*, 12, 69188–69205. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3401018>
 19. Quispe, J. A. B., Kemper, R. J. H., Gardini, S. R. P. (2023). Linear Quadratic Regulator (LQR) Control for the Active Suspension System of a Four-Wheeled Agricultural Robot. 2023 IEEE XXX International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON), 41, 1–6. <https://doi.org/10.1109/intercon59652.2023.10326049>
 20. Bennaceur, Selima., Azouz, N. (2023). Modelling and control of a quadrotor with flexible arms. *Alexandria Engineering Journal*, 65, 209–231. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.10.027>
 21. Zhang, B., Sun, X., Lv, M., Liu, S. (2022). Distributed Coordinated Control for Fixed-Wing UAVs With Dynamic Event-Triggered Communication. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 71 (5), 4665–4676. <https://doi.org/10.1109/tvt.2022.3140771>
 22. Aliyari, M., Wong, W.-K., Bouteraa, Y., Najafinia, S., Fekih, A., Mobayen, S. (2022). Design and Implementation of a Constrained Model Predictive Control Approach for Unmanned Aerial Vehicles. *IEEE Access*, 10, 91750–91762. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3202020>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313690

ВИДАЛЕННЯ ХМАРНОСТІ НА ОПТИЧНИХ КОСМІЧНИХ ЗНІМКАХ ЗА ДОПОМОГОЮ МОДЕЛІ ГЕНЕРАТИВНИХ ЗМАГАЛЬНИХ МЕРЕЖ З ВИКОРИСТАННЯМ SAR-ЗНІМКІВ (с. 6–12)

М. П. Романчук, А. А. Завада, О. М. Наумчак, Л. М. Наумчак, І. Г. Кошева

Об'єктом даного дослідження є процес видалення хмарності на оптичних космічних знімках. Розв'язання завдання видалення хмарності є важливим етапом обробки даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), спрямованим на реконструкцію інформації, прихованої цими атмосферними збуреннями. Проаналізовані недоліки злиття суто оптичних даних призвели до висновку, що найкращим вирішенням проблеми видалення хмарності є поєднання оптичних та радіолокаційних даних. Порівняно з традиційними методами обробки зображень більш ефективно і кращі показники виконання завдання забезпечать нейронні мережі за рахунок можливості адаптуватися до різних умов та типів зображень. В результаті була розроблена модель генеративно-змагальної мережі (GAN) з архітектурою циклічно-послідовного 7-ResNeXt блочного для видалення хмар на оптичних космічних знімках з використанням зображення радара з синтезованою апертурою (SAR). Розроблена модель створює менше артефактів при перетворенні знімку в порівнянні з іншими моделі, що обробляють мультитимчасові знімки.

Отримані результати експерименту на наборі даних SEN12MS-CR демонструють здатність розробленої моделі видаляти густі хмари з одночасових космічних знімків Sentinel-2. Це підтверджується реконструкцією пікселів всіх багатоспектральних каналів з середнім значенням RMSE 2.4 %. Для підвищення інформативності нейронної мережі під час навчання моделі використовується SAR-знімок з сигналом С-діапазону, який має більшу довжину хвилі і тим самим надає дані середньої розрізненості про геометричну структуру земної поверхні. Використання даної моделі дасть можливість підвищити ситуаційну обізнаність всіх рівнів управління Збройних Сил України за рахунок використання актуальних космічних спостережень Землі від різних систем ДЗЗ.

Ключові слова: дистанційне зондування, реконструкція зображень, видалення хмар, генеративна змагальна мережа.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.312621

РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНИХ НАВЧАЛЬНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ТА СЕГМЕНТАЦІЇ МОДЕЛЕЙ ПРИ АНАЛІЗІ ДЕФЕКТУ МІЖПЕРЕСЕРДНОЇ ПЕРЕГОРОДИ (с. 13–23)

Sabina Rakhmetulayeva, Baubek Ukibassov, Zhandos Zhanabekov, Bolshibayeva Aigerim

Метою цього дослідження є розробка ефективного конвеєра для виявлення дефектів міжпередсердної перегородки (ДМП) за допомогою ехокардіографічних зображень. ДМП – це поширені вроджені вади серця, які можуть призвести до серйозних проблем зі здоров'ям, якщо їх не діагностувати вчасно. Зростаючі показники смертності внаслідок невиявлених ДМП підкреслюють нагальну потребу у вдосконаленні методів діагностики. Щоб вирішити проблему обмежених анотованих медичних даних, які перешкоджають точним моделям виявлення, у цьому дослідженні було налаштовано модель SegFormer для точної сегментації серцевих структур на ехокардіографічних зображеннях, зосередившись на чотирикамерному вигляді серця, необхідному для виявлення ДМП. Завдяки інтеграції SegFormer з моделлю виявлення YOLOv7, відомою для виявлення об'єктів у реальному часі, області ДМП у сегментованих структурах серця були точно ідентифіковані. Це перехресне посилення забезпечує анатомічно точні діагнози та зменшує помилкові спрацьовування. Результати дослідження демонструють, що, незважаючи на обмежені дані, інтегрований метод досягає високої точності та швидкості, перевершуючи традиційні моделі. Це покращення пояснюється синергією між трансформаторною сегментацією SegFormer і ефективними можливостями виявлення YOLOv7. Відмінною рисою нашого підходу є успішна інтеграція цих моделей у спосіб, ефективний для даних, що дозволяє ефективно виявляти ДМП навіть за обмежених даних. Сфера практичного використання включає розгортання в клінічних умовах з обмеженими ресурсами, що вимагає лише ехокардіографічного обладнання та основних обчислювальних ресурсів. Надаючи клініцистам надійний інструмент для виявлення ДМП, дослідження підтримує своєчасне втручання в педіатричну кардіологію, в кінцевому підсумку покращуючи результати пацієнтів і підвищуючи послідовність лікування.

Ключові слова: глибоке навчання, SegFormer, ехокардіографія, сегментація зображення, YOLOv7, збільшення даних.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.314148

ПОРІВНЯННЯ МОДЕЛЕЙ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ХВОРИХ ДЕРЕВ ЗА ДОПОМОГОЮ АЛГОРИТМУ СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ (с. 24–35)

Asiya Sarinova, Leila Rzayeva, Gulnara Abitova, Alimzhan Yessenov, Ansar Sansyrbayev, Yerassyl Omirtay

Об'єктом дослідження є застосування алгоритмів глибокого навчання з використанням удосконаленого математичного методу стиснення зображень без втрат для розпізнавання та ідентифікації загиблих дерев на аерокосмічних знімках.

Основною проблемою, яка була вирішена, є архівування зображень через їх великий об'єм на диску та можливість їх подальшої обробки методами глибокого навчання, такими як згорткові та капсульні нейронні мережі, які показали високу ефективність та точність у завданнях розпізнавання та класифікації зображень за допомогою запропонованого нового методу стиснення зображень.

У статті представлений порівняльний аналіз продуктивності трьох моделей YOLO (Ви дивитесь лише раз) з різними типами архітектур, таких як YOLOv5, YOLOv7 і YOLOv8, для оцінки ефективності їх роботи в завданні розпізнавання аерокосмічних зображень дерев, отриманих із супутників, безпілотних літальних апаратів і літаків.

Всебічний аналіз моделей YOLO показав, що модель YOLO v8 виявилася найбільш ефективною з позитивною точністю 88,2 %, чуйністю 77,4 % і оцінкою mAP50 в 87,2 %. Більше того, середній час виявлення становив лише 0,052 секунди для кожного зображення, незважаючи на те, що розмір моделі залишається дуже малим – 21,5 МБ. Ці результати свідчать про набагато краще використання часу та точну ідентифікацію мертвих дерев, а також про високу ефективність класифікації цілей.

Результати дослідження свідчать про значні перспективи глобального управління лісами, особливо в області скорочення лісів і захисту екосистем, завдяки точній оцінці стану лісового господарства. Запропонований підхід є універсальним і може бути використаний в реальних умовах, забезпечуючи оптимальне співвідношення швидкості, точності і ресурсів, необхідних для моніторингу лісів і управління ними.

Ключові слова: модель YOLO, стиснення зображення, комп'ютерний зір, управління лісами, глибоке навчання.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.314129

ОНТОЛОГІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБРОБКИ АНКЕТНИХ ДАНИХ (с. 36–52)

Kainizhamal Iklassova, Aliya Aitymova, Oxana Kopnova, Anna Shaporeva, Gulmira Abildinova, Zhanat Nurbekova, Leila Almagambetova, Alexey Gorokhov, Zhanat Aitymov

Об'єктом дослідження є аналіз анкетних даних із застосуванням онтологічного моделювання. Проблема полягає в тому, що традиційні методи обробки анкетних даних часто виявляються недостатньо ефективними при роботі з великими обсягами інформації та не дозволяють автоматизувати багато процесів аналізу.

У результаті дослідження розроблено онтологію, яка структурує та аналізує дані анкетних опитувань, що забезпечує більш точне виявлення прихованих взаємозв'язків між змінними. Використовуючи ці теоретичні положення, було створено інформаційну систему оцінки якості засвоєння компетенцій дітей дошкільного віку. Як респондентів було досліджено 150 дітей із різних дошкільних закладів. Запропонований у статті метод інтеграції даних суттєво полегшив процес аналізу даних як по групах, так і по окремих респондентах.

Ключовою відмінністю запропонованої методики є автоматизація рутинних операцій аналізу даних на основі онтологічної структури, що значно спрощує обробку великих обсягів інформації. Це дозволяє вирішити проблему обмежень традиційних методів аналізу та робить аналіз даних більш масштабним і відтворюваним.

Практичне застосування результатів можливе в маркетингу для аналізу задоволеності клієнтів, сегментації ринку та оцінки ефективності рекламних кампаній. У освітній сфері онтологія може бути використана для оцінки якості програм та аналізу думок респондентів, а в соціології – для аналізу громадської думки та проведення досліджень соціальних явищ.

Таким чином, запропонована онтологія надає ефективний інструмент для аналізу великих обсягів анкетних даних, що дозволяє організаціям ухвалювати більш обґрунтовані рішення та підвищувати свою ефективність.

Ключові слова: онтологічне моделювання, анкетні дані, інтеграція даних, автоматизація систем ухвалення рішень, аналіз анкетних даних, дошкільна освіта.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313970

ВДОСКОНАЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ АНАЛІЗУ КОНТЕКСТНО-ОСВІЧЕНИХ ПОДАНЬ ФРАЗ В ГАЛУЗІ УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛОМ (с. 53–60)

М. Ю. Бочарова, Є. В. Малахов

Об'єктом дослідження є контекстно-освічені подання фраз. Зростаюча потреба в автоматизації процесів підбору кандидатів та рекомендацій вакансій відкрила шлях для використання векторного представлення тексту. Ці вбудовування включають у себе переклад семантичної суті тексту в неперервний високо-вимірний векторний простір. Дослідження контекстно-освічених, багатозначних представлень фраз у сфері управління персоналом підвищує ефективність пошуку подібності та процедур відповідності, що сприяє ефективному процесу підбору персоналу. Але існуючі підходи не враховують контекст при моделюванні фраз. Це обумовлює необхідність вдосконалення інформаційної технології аналізу у цій сфері. В даній роботі запропоновано маркування початків та кінців фраз в тексті з використання спеціальних токенів. Це дозволило знизити вимоги до обчислювальних потужностей шляхом розрахунку всіх подань фраз, наявних в тексті одночасно. Ефективність вдосконалення була перевірена на новому наборі даних для порівняння та оцінювання моделей у завданні моделювання фраз в галузі управління персоналом. Запропонований підхід до моделювання подань фраз з урахуванням контексту в галузі з управлінням персоналом призводить до покращення обчислювальної ефективності на до 50 % та підвищення точності на до 10 %. Розроблено архітектуру моделі машинного навчання для створення подань фраз з ураху-

ванням контексту, яка відрізняється наявністю блоків для врахування меж фраз. Проведені експерименти та порівняння з існуючими підходами підтвердили ефективність запропонованого рішення. На практиці запропонована інформаційна технологія аналізу може бути використана для автоматизації процесу виділення та нормалізації навичок кандидатів в онлайн рекрутингу.

Ключові слова: опрацювання природної мови, великі мовні моделі, подання тексту, управління персоналом.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313531

ОРГАНІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО КЕРУВАННЯ НАСОСНИМИ АГРЕГАТАМИ ВОДОНАПІРНИХ СТАНЦІЙ (с. 61–75)

Л. М. Заміховський, М. Я. Николайчук, І. Т. Левицький

Створення і експлуатація сучасних систем диспетчерського керування насосними агрегатами передбачає комплексне вирішення окремих інженерно-технічних і наукових задач.

Об'єктом досліджень є інформаційні процеси при забезпеченні режимів роботи електроприводних насосних агрегатів водонапірних станцій.

В роботі вирішується науково-технічна проблема розроблення топології, апаратно-програмних засобів, алгоритмів керування, диспетчерського інтерфейсу та дослідження режимів роботи насосних агрегатів в системах диспетчерського керування водонапірними станціями.

Реалізовано алгоритми керування насосними агрегатами, перевагою яких є можливість автоматизованого розрахунку параметрів технологічних PID-регуляторів з урахуванням поточних електричних параметрів частотно-керованого електроприводу насосних агрегатів та умов експлуатації.

Розроблено та апробовано WEB-орієнтований диспетчерський інтерфейс системи керування насосними агрегатами на базі SCADA, що забезпечує процес керування в режимі реального часу.

Особливостями розробленої системи диспетчерського керування є удосконалена топологія, розширена функціональність, енергоощадні режими керування та можливість подальшої модернізації на основі принципів стандартизації та уніфікації апаратно-програмних засобів і проектних процедур.

Розроблена система диспетчерського керування насосними агрегатами водонапірних станцій реалізована і успішно експлуатується на промисловому підприємстві водозабезпечення.

Отримані результати забезпечили підвищення техніко-економічних показників при експлуатації технологічного обладнання за рахунок оперативності процедур контролю та керування, енергоощадних режимів роботи частотно-керованого електроприводу насосних агрегатів.

Ключові слова: водозабезпечення, топологія, насосний агрегат, PLC, SCADA, TIA Portal, Sinamics, PID.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.309725

РОЗРОБКА МОДЕЛІ НЕЙРОМЕРЕЖІ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ МІНІМАЛЬНОЇ ШВИДКОСТІ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ОЧИЩЕННЯ СВЕРДЛОВИНИ (с. 76–89)

Dinara Delikesheva, Erbol Essembayev, Aizada Sharaouva, Jamilyam Ismailova, Nurlan Zaripov

Об'єктом дослідження є ефективне очищення свердловин під час буріння. Предметом дослідження є розробка моделі машинного навчання на основі нейронної мережі для прогнозування оптимальної мінімальної витрати бурового розчину. Проблема полягає в необхідності покращити ефективність очищення свердловин, щоб запобігти застряганню труб і пов'язаним з цим простоям і витратам.

Під час дослідження була розроблена та протестована модель нейронної мережі для прогнозування мінімального дебіту для очищення свердловин. Модель була навчена та протестована на даних, які показують її високу точність і надійність. Середня квадратична помилка досягла 0,019169 для LSTM і 0,0828 для контрольованого рекурентного блока, що вказує на точність прогнозів. Для ефективної обробки часових рядів даних і врахування довгострокових залежностей використовувалися такі архітектури нейронних мереж, як довгострокова пам'ять і контрольований рекурентний блок.

Результати пояснюються за допомогою передових архітектур нейронної мережі та алгоритмів машинного навчання, що дозволило досягти високої точності прогнозів. Ці архітектури забезпечують ефективне навчання моделі на великих обсягах даних, дозволяючи враховувати складні залежності та фактори впливу.

Відмінними рисами результатів є хороша точність прогнозів і можливість використання моделі в реальних умовах. Модель демонструє хорошу продуктивність і надійність у прогнозуванні мінімальної витрати.

Результати дослідження можуть бути використані для оптимізації процесів буріння свердловин. Практичні застосування включають використання моделі для прогнозування оптимальної мінімальної швидкості потоку в різних умовах, що зменшить ризики застрягання труб і підвищить ефективність бурових робіт. Модель може бути інтегрована в існуючі системи моніторингу та управління процесами буріння для підвищення їх продуктивності.

Ключові слова: буріння свердловин, очищення свердловин, запобігання застряганню труб, нейронна мережа, машинне навчання, мінімальний дебіт.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313627**РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПРОГНОЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ТА КОНТРОЛЮ КОМБІНОВАНИМ ПРОПУЛЬСИВНИМ КОМПЛЕКСОМ (с. 90–102)****В. В. Будашко, А. К. Сандлер, С. Г. Хнюнін, В. М. Богач**

Об'єктом дослідження є процес маневрування транспортного засобу морського базування в стиснутих умовах, що вимагає сто відсоткового резервування підрулюючих пристроїв (ПП) різних модифікацій та розташування. Основною проблемою залишається забезпечення енергоефективного управління рухом судна на низькій швидкості в горизонтальній площині із використанням контролера прогнозованого управління високого рівня. Ієрархія системи керування рухом (СКР) зазвичай розділена на кілька рівнів за допомогою високорівневого контролера руху та алгоритму розподілу управління двигунами ПП. Це дозволяє створити модульну конструкцію програмного забезпечення, де контролер високого рівня (HLC) можна спроектувати без використання вичерпної інформації про двигуни ПП. Однак для певного набору конфігурацій ПП таке від'єднання може призвести до зниження продуктивності керування через обмеженість даних КВР щодо фізичних обмежень судна та поведінку СКР.

Основними результатами дослідження є методи покращення продуктивності керування з використанням нелінійного прогнозованого керування моделлю (MPC) як основи для розроблених контролерів руху через його оптимізоване рішення та здатність враховувати обмеження. Була реалізована відокремлена система для двох простих рухових завдань, що показують проблеми, пов'язані з роз'єднанням. Усунення недоліків відбулося за рахунок розроблення нелінійного контролера MPC, який поєднує контролер руху та розподілу управління двигунами ПП. Для збереження відокремленої модульності системи керування та досягнення її адекватної продуктивності був розроблений нелінійний контролер MPC із змінними в часі обмеженнями. Це дозволило врахувати поточні обмеження системи управління ПП, збільшити точність управління та зменшити час відгуку системи на 10 %.

Ключові слова: пропульсивний комплекс, прогнозоване управління, розподілена система, контролер високого рівня.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.308928**РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РУХОМ МОБІЛЬНОГО РОБОТА (с. 103–111)****Zhanibek Issabekov, Aldabergen Bektilevov, Vinera Baiturganova, Makhabbat Zhamuratova, Perizat Rakhmetova**

Це дослідження спрямоване на розробку математичної моделі для точного керування та стабілізації безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у різних просторових умовах. Вирішуючи проблему досягнення точного керування та стабільності, запропоноване рішення проектує систему керування на основі лінійно-квадратичного контролера (ЛКК) та моделює його за допомогою пропорційно-похідного (PD) контролера, реалізованого в Matlab/Simulink. Результати демонструють високу точність і стабільність в управлінні параметрами руху БПЛА – креном, тангажем, курсом і висотою. Цей важливий рівень продуктивності досягається завдяки адаптивності системи керування на основі ЛКК, яка оптимізує керуючі дії відповідно до нестационарної динаміки БПЛА. Інтеграція контролера PD покращує чуйність і стабільність, забезпечуючи точний контроль руху в діапазоні просторових станів. Ці функції ефективно вирішують проблему, керуючи складною динамікою БПЛА та забезпечуючи точне керування. Результати пояснюються здатністю ЛКК забезпечувати оптимальні закони керування, які мінімізують відхилення за допомогою квадратичної функції вартості, тоді як контролер PD швидко виправляє помилки та реагує на порушення. Переваги цього підходу включають значне зменшення помилок керування приблизно на 25–30 %, збільшення швидкості реакції на зовнішні перешкоди та зменшення затримки обчислення завдяки ефективній обробці порівняно з більш ресурсноємними методами, такими як прогнозне керування моделлю. Розроблена математична модель може бути застосована на практиці в умовах, що вимагають надійного контролю в режимі реального часу та адаптації до динамічних змін зовнішнього середовища. Він особливо підходить для таких галузей, як логістика, спостереження та моніторинг навколишнього середовища, забезпечуючи ефективне та оптимальне рішення для стабілізації та контролю руху БПЛА в різних просторових станах. Такий підхід покращує характеристики БПЛА та розширює їх можливості в різних умовах експлуатації.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, математична модель, лінійно-квадратичний регулятор, пропорційно-похідна, керування та стійкість.