Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____*Електронної та біомедичної інженерії*_____
(повна назва)

Кафедра _____*Біомедичної інженерії*_____
(повна назва)

АНОТАЦІЯ
кваліфікаційної роботи

рівень вищої освіти _____*другий (магістерський)*_____

_____Віртуальна навчальна кріомікроскопічна лабораторія_____
(тема)

Виконала:
студентка *2* курсу, групи *БМІм-21-1*_____
Литвин Анастасія Олександрівна_____
(прізвище, ініціали)
Спеціальність *163 Біомедична інженерія*_____
(код і повна назва спеціальності)
Тип програми ____*освітньо-професійна*_____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)
Освітня програма __*«Біомедична інженерія»*
(повна назва освітньої програми)

Керівник ___Аврунін О.Г._____
(посада, прізвище, ініціали)

2025 р.

ВСТУП

Кріомедицина є однією з ключових дисциплін, яка відіграє важливу роль у розвитку сучасної медицини та біотехнологій [1, 2]. Навчання в цій дисципліні стикається з низкою викликів, серед яких найсуттєвішими є необхідність використання дорогого та складного обладнання. Віртуальна кріолабораторія має низку переваг, серед яких зменшення витрат на обладнання та матеріали, безпечність проведення експериментів, можливість повторюваності дослідів без додаткових витрат, а також доступність дистанційного навчання

Об’єкт дослідження – створення системи віртуального асистента у навчальній 3Д кріолабораторії.

Предмет дослідження – система детекції об’єктів глибинними нейронними мережами, система фотографічного відтворення об’єктів.

Мета роботи – розробка системи віртуальної навчальної 3Д кріолабораторії.

Методи дослідження – аналіз науково-технічної літератури, використання алгоритмів комп'ютерного зору (зокрема, R-CNN і Detectron2), метод Gaussian Splatting для 3D-візуалізації.

У роботі розглянуто основні особливості впливу низьких температур на біологічні об’єкти, сучасні технології віртуальної реальності, а також тенденції створення навчальних 3D-середовищ [3, 4]. Проаналізовано існуючі технології детекції об'єктів, візуалізації та їхнє застосування у сфері кріомедицини, а також переваги та обмеження віртуальних навчальних лабораторій [5-15].

Розроблено інтегровану систему, яка забезпечує віртуальну взаємодію з кріолабораторією, моделює роботу з кріообладнанням та виконує функцію його розпізнавання, а також підтримує освітні та дослідницькі процеси.

Перспективи роботи включають: розширення функціоналу (інтеграція нових об'єктів і сценаріїв взаємодії), освітнє застосування (використання в навчальних програмах із біомедичної інженерії), медичні дослідження (моделювання та візуалізація складних процесів у кріотехнологіях), комерціалізація.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Кваліфікаційна робота спрямована на створення віртуальної 3D-кріолабораторії із застосуванням глибинного навчання та детекції об’єктів для вирішення завдань аналізу, моделювання та навчання у сфері кріомедицини [16-27].

У першому розділі кваліфікаційної роботи проведено медико-технічний огляд літератури щодо кріотехнологій [4]. Розглянуто основні тенденції розвитку кріомедицини в Україні та світі, її роль у сучасній науці та медицині, досягнення у сфері створення віртуальних лабораторій, їх переваги та виклики [5]. Було проаналізовано особливості низькотемпературного впливу на біологічні зразки та сучасні методи візуалізації, включаючи фотореалістичне моделювання [28-41]. У розділі обґрунтовано актуальність роботи та узагальнено основні підходи, які є базою для створення віртуальної кріолабораторії [44].

У другому розділі розглянуто загальні принципи побудови структурної схеми віртуальної кріолабораторії [45]. Описано основні компоненти системи, включаючи модулі детекції об’єктів, візуалізації та генерації навчальних завдань. Розроблено структурну схему, яка описує взаємодію модулів між собою, а також із користувачем, VR-окулярами та віртуальним середовищем. Наведено опис функцій кожного модуля та їх інтеграції у єдину систему [46].

У третьому розділі описано процес тренування детекційних нейронних мереж і їх оцінку. Зокрема, розглянуто алгоритми роботи Detectron2, його переваги та недоліки. Описано підготовку середовища для навчання, створення й розмітку зображень у LabelMe, а також проведення навчання нейронної мережі на підготовлених наборах даних. Проведено оцінку моделей за ключовими параметрами, такими як точність і швидкість роботи, наведено порівняльну таблицю результатів [42,43].

У четвертому розділі розглянуто процес створення та тестування 3D-віртуальної кріолабораторії. Створено фотореалістичні 3D-моделі обладнання за

допомогою методів Gaussian Splatting і фотограмметрії, інтегровано їх у віртуальне середовище. Проведено тестування системи, включаючи оцінку взаємодії користувача з VR-окулярами та віртуальними об’єктами. Результати тестування модуля детекції та готової системи зафіксовано у вигляді скріншотів (рис.3.24 – 3.29, 4.5 – 4.8).

Кваліфікаційна робота демонструє практичну реалізацію сучасних технологій глибинного навчання, 3D-візуалізації та віртуальної реальності для розв’язання актуальних завдань у кріомедицині.

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи було досягнуто таких результатів:

1. Здійснено огляд літератури щодо розвитку кріотехнологій в Україні та світі. Проаналізовано сучасні тенденції у створенні віртуальних лабораторій, їхні переваги і виклики, пов’язані з високою вартістю розробки та впровадження.

2. Розроблено базу даних, яка містить 888 фотографій і 14 відео обладнання кріолабораторії IMP. Зібрані дані були оброблені для навчання нейронних мереж і створення фотореалістичних реплік лабораторного обладнання.

3. Складено детальний опис кріолабораторії, включаючи протоколи безпеки для роботи з обладнанням. Також було створено відповідні тести для перевірки знань із дотримання правил експлуатації.

4. Навчено три моделі глибинних нейронних мереж для детекції лабораторного обладнання, проведено їх оцінювання за шістьма ключовими параметрами. Отримані результати дозволили вибрати найбільш ефективну модель для подальшого впровадження у віртуальне середовище.

5. Створено демонстраційні відео, які ілюструють здатність нейронних мереж розпізнавати обладнання з високою точністю, що підтверджує ефективність розробленого підходу.

6. Розроблено фотореалістичні 3D-моделі лабораторного обладнання кріо- та флуоресцентних лабораторій за допомогою методів Gaussian Splatting і фотограмметрії.

Таким чином, розроблена система віртуальної кріолабораторії дозволяє автоматизувати процеси детекції та візуалізації, сприяє вдосконаленню навчального процесу в галузі кріотехнологій та розширює можливості для проведення наукових досліджень без використання реального обладнання. Отримані результати підтверджують доцільність і ефективність інтеграції сучасних технологій віртуальної реальності, глибинного навчання та 3D-візуалізації у навчальні та наукові проєкти.

КЛЮЧОВІ СЛОВА

БІОМЕДИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ, ГЛИБИННЕ НАВЧАННЯ, ГЛИБИННІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ, ДЕТЕКТРОН2, ДЕТЕКЦІЯ ОБ’ЄКТІВ, КРІОЛАБОРАТОРІЯ, ОСВІТА, ОХОРОНА ЗДОРОВ’Я.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ КАФЕДРИ

1. Chatterjee A, Saha D, Niemann H, Gryshkov O, Glasmacher B, Hofmann N. Effects of cryopreservation on the epigenetic profile of cells. Cryobiology. 2017 Feb;74:1-7. doi: 10.1016/j.cryobiol.2016.12.002. Epub 2016 Dec 9. PMID: 27940283.

2. Freimark D, Sehl C, Weber C, Hudel K, Czermak P, Hofmann N, Spindler R, Glasmacher B. Systematic parameter optimisation of a Me(2)SO- and serum-free cryopreservation protocol for human mesenchymal stem cells. Cryobiology. 2011 Oct;63(2):67-75. doi: 10.1016/j.cryobiol.2011.05.002. Epub 2011 May 17. PMID: 21620818.

3. Park, B.J.; Hunt, S.J.; Martin, C., III; Nadolski, G.J.; Wood, B.; Gade, T.P. Augmented and Mixed Reality: Technologies for Enhancing the Future of IR. J. Vasc. Interv. Radiol. 2020, 31, 1074–1082.

4. K. Selivanova, D. Kostin and M. Tymkovych, "Conception of a Mixed Reality Eyesight Training System Based on the Parallel Robot," 2021 IEEE 8th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2021, pp. 241-244, doi: 10.1109/PICST54195.2021.9772244.

5. Selivanova, K.G., Avrunin, O.G., Zlepko, S.M., Tymchyk, S.V., Pinaiev, B., Zyska, T., Kalimoldayev, M. Virtual training system for tremor prevention (2019) Information Technology in Medical Diagnostics II - Proceedings of the International Scientific Internet Conference on Computer Graphics and Image Processing and 48th International Scientific and Practical Conference on Application of Lasers in Medicine and Biology, 2018, pp. 9-14. Cited 8 times. ISBN: 978-036717769-0 doi: 10.1201/9780429057618-2.

6. НАН України. Інститут проблем кріобіології і кріомедицини [Електронний ресурс]: https://web.archive.org/web/20081228024614/http://www.nas.gov.ua/OrgStructure/SHBN/vmbbecf/Institutions/ipkk/Pages/ipkk.aspx (дата звернення: 12.01.2025).

7. Петренко О.Ю. сучасний стан та перспективи розвитку кріобіології і кріомедицини. Стенограма доповіді на засіданні Президії НАН України 14 грудня 2022 року: doi: https://doi.org/10.15407/visn2023.02.075.

8. Вісник Національної академії наук України № 12 (2024) [Електронний ресурс]: https://visnyk-nanu.org.ua/ojs/index.php/v (дата звернення: 12.01.2025).

9. Research in Nife. URL: https://nife-hannover.de/en/research/research-in-nife/ (дата звернення: 10.01.2025).

10.Список основного обладнання NIFE. [Електронний ресурс]: https://www.imp.uni-hannover.de/en/forschung/apparative-ausstattung/translate-to-english-nife-ausstattungsliste#c246628 (дата звернення: 10.01.2025).

11.Керівництво по експлуатації. Кріо-ЕМ ZEISS AXIO IMAGER A1. [Електронний ресурс]: http://www.ueb.cas.cz/cs/system/files/users/public/01_common/imaging_facility/Zeiss_Apotome_2/AxioImager_manual.pdf (дата звернення: 10.01.2025).

12.Офіційний сайт Linkam: FDCS196. [Електронний ресурс]: https://www.linkam.co.uk/fdcs196 (дата звернення: 10.01.2025).

13.Офіційний сайт Linkam: BCS196. [Електронний ресурс]: https://www.linkam.co.uk/bcs196 (дата звернення: 10.01.2025).

14.Офіційний сайт Linkam: THMS600. [Електронний ресурс]: https://www.linkam.co.uk/ thms600 (дата звернення: 10.01.2025).

15. Mutsenko, Vitalii; Anastassopoulos, Elias; Zaragotas, Dimitris; Simaioforidou, Anastasia; Tarusin, Dmytro; Lauterboeck, Lothar et al. (2023): Monitoring of freezing patterns within 3D collagen-hydroxyapatite scaffolds using infrared thermography. In Cryobiology 111, pp. 57–69. DOI: 10.1016/j.cryobiol.2023.02.001.

16. Müller, M., Barker, S.-A., Hentschel, G., Höltje, K., Leal-Marin, S., Rittinghaus, T. and Glasmacher, B. (2023) ‘Bioartifizielles Gewebe: Entwicklung, Herstellung und Kryokonservierung’, Unimagazin 1/2 (2023).

17. 46th Annual International Conference of Young Scientists "Cold in biology and medicine: current problems in cryobiology, transplantology, and biotechnology", Kharkiv, May, 25 2022 / The Institute for Problems of Cryobiology and Cryomedicine of the NAS of Ukraine – Kharkiv, 2022. – 41 p.

18. 46th Annual International Conference of Young Scientists "Cold in biology and medicine: current problems in cryobiology, transplantology, and biotechnology", Kharkiv, May, 25 2022 / The Institute for Problems of Cryobiology and Cryomedicine of the NAS of Ukraine – Kharkiv, 2022. – 41 p.

19. Planer Kryo 560-16 User Manual. [Електронний ресурс]: https://planer.com/~tmsplane/downloads/controlled-rate-freezers-1/kryo-560-16/manuals-13.html (дата звернення: 20.10.2024).

20. Ruemke S, Rubalskii E, Salmoukas C, Hermes K, Natanov R, Kaufeld T, Gryshkov O, Mutsenko V, Rubalsky M, Burgwitz K, et al. Combination of Bacteriophages and Antibiotics for Prevention of Vascular Graft Infections – An In Vitro Study. Pharmaceuticals. 2023; 16(5):744. [Електронний ресурс]: https://doi.org/10.3390/ph16050744 Add to Citavi project by DOI (дата звернення: 17.01.2025).

21. Hentschel Gesine, Weiß Miriam, Hoffmann Simon, Nahm Werner and Glasmacher Birgit. "Using Hydrogel Beads as a Blood Model in Optical Coherence Tomography" Current Directions in Biomedical Engineering, vol. 9, no. 1, 2023, pp. 579-582. [Електронний ресурс]: https://doi.org/10.1515/cdbme-2023-1145 (дата звернення: 20.10.2024).

22. Nyiramukama Diana Kashaka, "Virtual Laboratories in Science Education: Benefits and Challenges" EURASIAN EXPERIMENT JOURNAL OF SCIENTIFIC AND APPLIED RESEARCH, 2021, pp.21-25.

23. Dong J, Li D, Ozcan K, Wan D, Jiang W, Chen Y. Development of CryoVR, a virtual reality training system for hands-on cryoEM operations. Acta Crystallogr D Struct Biol. 2022 Jul 1;78(Pt 7):903-910. doi: 10.1107/S2059798322005654. Epub 2022 Jun 27. PMID: 35775989; PMCID: PMC9248840.

24. Tong Wu, Yu-Jie Yuan, Ling-Xiao Zhang, Jie Yang, Yan-Pei Cao, Ling-Qi Yan, Lin Gao. Recent Advances in 3D Gaussian Splatting. 2024 https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.11134.

25. Microsoft Hololens[Електронний ресурс]: https://www.microsoft.com/de-de/hololens (дата звернення: 17.01.2025).

26. Apple Vision Pro [Електронний ресурс]: https://www.apple.com/de/shop/buy-vision/apple-vision-pro?afid=p238%7CskdZEKMkQ-dc_mtid_187079nc38483_pcrid_705627575465_pgrid_162971356965_pntwk_g_pchan_local_pexid__ptid_pla-2318077772806_&cid=aos-de-kwgo-pla-visionpro_lia--slid---product-MQL83FD/A-DE (дата звернення: 17.01.2025).

27. Meta Quest 3 [Електронний ресурс]: https://www.meta.com/de/quest/accessories/quest-3-charging-dock/ (дата звернення: 17.01.2025).

28.https://docs.google.com/document/d/1npvKl2_OGjFahUL5yetnxx5nv1I9K4ju/edit?usp=sharing&ouid=110296414796603510694&rtpof=true&sd=true (дата звернення: 01.01.2025).

29.https://docs.google.com/document/d/19tDTbyLGkRXfTVkR4P0ohbOla3U23cEx/edit?usp=sharing&ouid=110296414796603510694&rtpof=true&sd=true (дата звернення: 01.01.2025).

30. K. Wada, "Labelme: Image Polygonal Annotation with Python," Zenodo, doi: 10.5281/zenodo.5711226.

31. AWS Documentation "The COCO dataset format" https://docs.aws.amazon.com/rekognition/latest/customlabels-dg/md-coco-overview.html?utm (дата звернення: 01.01.2025).

31. V7 Labs “COCO Dataset: All You Need to Know to Get Started” https://www.v7labs.com/blog/coco-dataset-guide?utm (дата звернення: 01.01.2025).

32. Tsung-Yi Lin, Michael Maire, Serge Belongie, Lubomir Bourdev, Ross Girshick, James Hays, Pietro Perona, Deva Ramanan, C. Lawrence Zitnick, Piotr Dollár

Microsoft COCO: Common Objects in Context https://doi.org/10.48550/arXiv.1405.0312.

33. Google collab [Електронний ресурс]: https://colab.research.google.com (дата звернення: 01.01.2025).

34. Detectron2 [Електронний ресурс]: https://github.com/facebookresearch/detectron2 (дата звернення: 01.01.2025).

35. Research gate [Електронний ресурс]: https://www.researchgate.net/figure/Dense-Neural-Network_fig2_344777084 (дата звернення: 01.01.2025).

36. Ljubisa Stankovic, Danilo Mandic Convolutional Neural Networks Demystified: A Matched Filtering Perspective Based Tutorial https://doi.org/10.48550/arXiv.2108.11663.

37. K. He, G. Gkioxari, P. Dollár, and R. B. Girshick, "Mask R-CNN," Proc. Conf. Comp. Vision Pattern Recognit., 2017. [Електронний ресурс]: https://api.semanticscholar.org/CorpusID:54465873 (дата звернення: 01.01.2025).

38. R. Girshick, J. Donahue, T. Darrell and J. Malik, "Rich Feature Hierarchies for Accurate Object Detection and Semantic Segmentation" 2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Columbus, OH, USA, 2014, pp. 580-587, doi: 10.1109/CVPR.2014.81.

39. Mathplotlib [Електронний ресурс]: https://matplotlib.org (дата звернення: 01.01.2025).

40. Посохова К. «Вітруальна флуорисцентра лабораторія», дипломна робота, 2025.

41.https://drive.google.com/drive/folders/1G9o1SYNfuOHqtEXjCYammg4GFK9WYqsc?usp=sharing.

42. Colmap [Електронний ресурс]: https://colmap.github.io (дата звернення: 01.01.2025).

43. SuperSplat (PlayCanvas) [Електронний ресурс]: https://playcanvas.com/supersplat/editor (дата звернення: 01.01.2025).

44. Anastasiia Lytvyn, Kateryna Posokhova, Maksym Tymkovych, Oleg Avrunin, Oleksandra Hubenia, Birgit Glasmacher. Virtual cryolaboratory: visual guidance using deep neural network based on Detectron2 framework. Thesis, poster. 60th meeting Society for Low Temperature Biology – 11.09.2024.

45. Anastasiia Lytvyn, Kateryna Posokhova, Maksym Tymkovych, Oleg Avrunin, Oleksandra Hubenia, Birgit Glasmacher. Object detection for virtual assistant in cryolaboratory based on Detectron2 framework. Article. 2024 IEEE 17th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering. – 7 - 11.10.2024: https://doi.org/10.1109/TCSET64720.2024.10755685.

46. Anastasiia Lytvyn, Maksym Tymkovych, Oleg Avrunin. Creation of a virtual training cryolaboratory. International Scientific and Practical Conference ELECTRICAL ENERGY, ELECTROMECHANICS AND TECHNOLOGIES IN AGRICULTURAL INDUSTRIAL COMPLEX [Електронний ресурс]: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 6 листопада 2024 р. / Держ. біотехнологічний ун-т. – Харків, – p.175-176 – Електронні текстові дані: http://btu.kharkov.ua/nauka/konferentsiyi/