

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 лабораторія
флуоресцентної мікроскопії
(тема)

Виконав:
студентка 2 курсу, групи БМІм-23-1

Посохова К.А.
(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

Флуоресцентна мікроскопія є одним із найважливіших інструментів у сучасній біомедичній науці, що дозволяє детально вивчати структуру та функціонування клітин і тканин. Завдяки високій роздільній здатності та можливості виявляти специфічні молекули, флуоресцентна мікроскопія відкриває нові горизонти в дослідженнях механізмів розвитку захворювань, діагностиці та створенні ефективних методів лікування.

Однак для ефективного використання флуоресцентного мікроскопу потрібні навички, які краще здобувати через практичне навчання. Саме тому пропонується навчання за допомогою технологій віртуальної реальності.

Використання технологій VR в освітньому процесі демонструє значне підвищення ефективності навчання. Зокрема, дослідження свідчать, що навчання на основі VR підвищує ефективність на 76% порівняно з традиційними методами

Об'єкт дослідження це процес створення віртуальної лабораторії флуоресцентної мікроскопії.

Предметом дослідження є методи та засоби створення віртуальної лабораторії флуоресцентної мікроскопії.

Мета роботи – розробка віртуальної навчальної лабораторії для флуоресцентних досліджень, з метою впровадження її дистанційного навчання, що дозволить забезпечити її доступність для студентів з різних куточків світу.

Методи розробки та апаратура включають застосування бібліотек Detectron2, виконання візуалізації лабораторного обладнання, які базуються на фотограмметрії та Гауссівському розподілі, а також використанні скінченного автомату.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Кваліфікаційна робота спрямована на дослідження можливостей створення віртуальної лабораторії флуоресцентної мікроскопії [1-3]. Така технологія може ефективно використовуватись для навчання студентів, оскільки забезпечує доступ до сучасних інструментів і методів дослідження навіть в умовах онлайн-занять [4]. Віртуальна лабораторія дозволяє студентам освоювати принципи роботи з флуоресцентною мікроскопією без необхідності фізичного доступу до лабораторного обладнання [5]. Це сприяє покращенню теоретичних знань і формуванню практичних навичок, знижуючи бар'єри, пов'язані з обмеженим доступом до лабораторій [6]. Крім того, інтерактивне середовище стимулює активне навчання, підвищує зацікавленість студентів і сприяє якісній підготовці майбутніх фахівців у галузі мікроскопії та суміжних наук [7-11].

У першому розділі роботи проведено медико-технічне обґрунтування створення віртуальної лабораторії флуоресцентної мікроскопії [12]. Зокрема, було проаналізовано актуальність впровадження такої лабораторії в освітній та науковій діяльності, враховуючи зростаючу потребу у віддаленому доступі до навчальних інструментів та обладнання [13-15]. Головним завданням є розробка віртуального середовища, яке дозволяє безпечно тренуватися з апаратурою, усуваючи ризики, що виникають при фізичному використанні обладнання. У межах розділу також визначено ключові завдання, що включають розробку функціональних можливостей лабораторії, вибір технічних засобів для її реалізації та аналіз вимог до її медичного застосування. Таким чином, у цьому розділі створено теоретичну базу для реалізації проекту.

У другому розділі здійснено детальний аналіз обладнання, що використовується у флуоресцентній лабораторії, розташованій у центрі NIFE (Niedersächsisches Zentrum für Biomedizintechnik, Implantatforschung und Entwicklung, що діє при Інституті Лейбніца, Німеччина). Розглянуто

характеристики приладів та їх функціональні можливості в контексті завдань дослідження. У флуоресцентній лабораторії мають наступні прилади: Флуоресцентний мікроскоп ZeissAxiovert 200MFluorescence, Комбінований Раманівський атомно-силовий мікроскоп alpha300 RA, Електропоратор ВТХ Gemini SC, Установа для проведення електрофорезу, Лічильник розміру часток Multisizer 3 CoulterCounter, Термоциклер (Thermal cycler), УФ-Транслюмінатор (UV-Transilluminator). Було запропоновано структурну схему віртуальної лабораторії флуоресцентної мікроскопії в додатку Б [16].

У третьому розділі розробили блок детектування об'єктів лабораторії флуоресцентної мікроскопії, а саме – провели збір і підготовку даних із лабораторії флуоресцентної мікроскопії за допомогою камери Canon EOS M50 Mark II, яка працювала у двох основних режимах: зйомка фотографій з роздільною здатністю 6000x4000 (24 мегапікселі) та відеозапис у форматі 1280x720 пікселів. Для маркування зображень використовувалося програмне забезпечення labelme. Обґрунтували вибір мови програмування Python та середовища виконання Google Collaboratory [17-24]. Проаналізовано можливості та застосування бібліотеки Detectron2, за допомогою якої було виконано навчання моделей, зокрема Faster R-CNN R 50 DC5 3x, Faster R-CNN R 50 FPN 3x та Faster R-CNN R 101 FPN 3x, лістинг програми наведено у додатку В. Розглянули метрики оцінки моделей та провели аналіз ефективності моделей на основі метрик навчання, результати аналізу зображені на рисунках 3.8 – 3.14. Для огляду ефективності роботи моделей, виконали детекцію по відео, лістинг програми наведено у додатку Г (рис. 3.15) [25].

Четвертий розділ присвячено створенню блоку реконструкції [26-37]. У межах цього етапу було зібрано дані та виконано їхню візуалізацію із застосуванням фотограмметрії, зокрема методу Structure from Motion (SfM), що дозволяє відтворювати тривимірні моделі об'єктів із набору зображень. Для реконструкції та обробки зображень використано передові технології COLMAP і SUPERSPLAT. Було виконано візуалізації, які базуються на Гауссівському

розподілі, забезпечуючи високу якість і фотореалістичність зображень за допомогою технології "плям" (splats), лістинг програми наведено у додатку Г [38-45]. Також у процесі розробки менеджера завдань застосовано підхід зі скінченим автоматом, який дозволив реалізувати ідею станів роботи (рис. 4.7). Стан S0 (Виключене положення) – мікроскопічна станція вимкнена, всі ресурси в режимі очікування. Стан S1 (Включення мікроскопу) – після натискання кнопки включення система ініціалізує мікроскоп і готує його до роботи. Стан S2 (Робота над зразком) – мікроскоп готовий, і система виконує дослідження зразка. Перехід між станами відбувається через події або умови: зовнішні (команди користувача, сенсори) чи внутрішні (етапи обробки даних).

ВИСНОВКИ

У роботі детально розглянуто теоретичні та практичні аспекти створення віртуальної лабораторії флуоресцентної мікроскопії. Проаналізовано актуальність впровадження такої лабораторії для навчання, визначено основні завдання та мету дослідження, а також медико-технічні аспекти її розробки. Для детекції об'єктів лабораторії було використано Detectron2, а для створення анотацій застосовано інструмент LabelMe. У роботі використано фотограмметричний підхід Structure from Motion (SfM) для реконструкції фотореалістичних 3D-моделей, що дозволило створити інтерактивну систему. Реалізовано менеджер завдань на основі скінченних автоматів для організації навчального процесу.

Розробка блоку детекції вимагала великої кількості зображень об'єктів з різних ракурсів. Чим складніший об'єкт, тим важче його детектувати. Наприклад, великі об'єкти, як комбінований Раманівський атомно-силовий мікроскоп alpha300 RA, через свій корпус викликають графічні артефакти під час візуалізації. Проблеми також виникають через текстуру поверхні, як у випадку з глянцевим склом, що відбиває навколишнє середовище і створює хибні точки. Для якісної візуалізації потрібна велика кількість зображень, хороше освітлення та стабільність середовища. Похибки можуть виникати через людський фактор, недостатню потужність техніки, обмежену кількість даних або неправильний вибір моделі.

Розроблене віртуальне лабораторне середовище має перспективу інтеграції з хмарними платформами для дистанційного навчання, що забезпечить його доступність для студентів у будь-якій точці світу. Сфера застосування включає навчання студентів за спеціальністю «Біомедична інженерія», а також підготовку фахівців у суміжних галузях, таких як біологія, медицина та наукові дослідження.

КЛЮЧОВІ СЛОВА

**DETECTRON2, GAUSSIAN SPLATTING, 3D ВІЗУАЛІЗАЦІЯ,
ДЕТЕКЦІЯ ОБ'ЄКТІВ, ЛАБОРАТОРІЯ ФЛУОРЕСЦЕНЦІЇ, МІКРОСКОП,
ВІРТУАЛЬНА РЕАЛЬНІСТЬ, ВІРТУАЛЬНІ АСИСТЕНТИ**

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Віртуальна реальність: від фантастики до практики [Електронний ресурс] – <http://i.nure.ua/tekhnologiji/1942-virtualna-realnist-vid-fantastiki-do-praktiki> (дата звернення: 13.01.2025).
2. Віртуальна реальність в освіті: як технології VR і AR змінюють навчання [Електронний ресурс] – <https://mental.ua/virtualna-realnist-v-osviti-yak-tekhnologii-vr-i-ar-zminiuiut-navchannia/> (дата звернення: 13.01.2025).
3. O. Gryshkov, M. Tymkovych, O. Avrunin, B. Glasmacher et al. Ethylene glycol improves cryopreservation of cell-seeded electrospun scaffolds in cryobags // Abstracts of 8th European Medical and Biological Engineering Conference (EMBEC 2020), 29 November – 3 December, Portorož, Slovenia, 2020. P. 169.
4. Tymkovych, M., Avrunin, O., Gryshkov, O., Semenets, V., Glasmacher, B. Ice crystals microscopic images segmentation based on active contours . // IEEE 2019. 39-th International Conference on Electronics and Nanotechnology, 16-18 April, Kyiv, Ukraine, 2019. P. 493–496.
5. Tymkovych, M. Y., Gryshkov, O., Selivanova, K. G., Mutsenko, V., & Glasmacher, B. (2019). Multiscale quantitative analysis of microscopic images of ice crystals. 46th ESAO Congress. The International Journal of Artificial Organs, (42), 429.
6. Gryshkov O. Optimal cryopreservation yields intact alginate microspheres and high cell viability after thawing/Oleksandr Gryshkov, Maksym Tymkovych, Tim Rittinghaus, Oleg Avrunin, Birgit Glasmacher//Cryobiology. – Vol. 85. – P. 178.
7. Tymkovych M., Gryshkov O., Selivanova K., Mutsenko V., Avrunin O., Glasmacher B.. Application of Artificial Neural Networks for Analysis of Ice Recrystallization Process for Cryopreservation, IFMBE Proceedings, 80 (2021), 102- 111. doi:10.1007/978-3-030-64610-3 27.

8. 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.
9. Cosas Fernandes, J.P., Mareau, V.H., & Gonon, L. (2018). Co-localized AFM-Raman: A powerful tool to optimize the sol-gel chemistry of hybrid polymer membranes for fuel cell. *Polymer, 137*, 231-244. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2018.01.014>.
10. Tavassol, F., Kampmann, A., Schumann, P., Lindhorst, D., Kokemüller, H., Essig, H., Meemken, J.-H., Rucker, M., & Gellrich, N.-C. (2011). A Novel Approach for Studying Microcirculation in Bone Defects by Intravital Fluorescence Microscopy. *Tissue Engineering Part C: Methods*. <https://doi.org/10.1089/ten.tec.2011.006>
11. The experience software-based design of virtual medical intrascopy systems for simulation study International Journal / O. Avrunin, L. Aver'yanova, V. Golovenko, O. Sklyar // Information Technologies and Knowledge. – 2008. – Vol. 2. – P. 470-474.
12. Павлов С. В., Аврунін О. Г., Злепко С. М., Бодянський Є. В., Колісник П. Ф., Лисенко О. М., Чайковський І. А., Філатов В. О. (2019). Інтелектуальні технології в медичній діагностиці, лікуванні та реабілітації: монографія. Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К». – 2019. – 260 с.
13. Використання VR технологій для навчання медичних працівників [Електронний ресурс] – <https://www.researchgate.net/publication/355331835/figure/fig2/AS:1079401328455720@1634360739689/Medical-VR-Total-Knee-Surgical-Simulator-Demo.jpg> (дата звернення: 20.11.2024).

14. VR Simulation for Radiation Therapy Education [Електронний ресурс] – https://ecs.wgtn.ac.nz/foswiki/pub/Groups/HCI/LinacVR/igp_5d74cb8d69d84d8aafba578dd46d5658_linacvr.jpg (дата звернення: 13.01.2025).
15. Online External Beam Radiation Treatment Simulator [Електронний ресурс] – <https://arxiv.org/abs/1811.11947> (дата звернення: 20.11.2024).
16. Бажан О. В., Аврунін О. Г., Тимкович М. Ю. Використання технологій віртуальної реальності в пластичній хірургії. Авіація, промисловість, суспільство : матеріали I Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених, курсантів та студентів, Кременчук. 2018. С. 184.
17. Interactive X-ray and proton therapy training and simulation [Електронний ресурс] – <https://arxiv.org/abs/1811.11941> (дата звернення: 13.01.2025).
18. How AR & VR in Healthcare Enhances Medical Training? [Електронний ресурс] – <https://onix-systems.com/blog/ar-vr-in-medical-training> (дата звернення: 13.01.2025).
19. V. Semenets, V. Kauk, O. Avrunin. “The advanced technology of remote training at the initial process” [“Vprovadjennya tehnologiy dystantsiynogo navchannya u navchalnii protses”], High School, 2009. – No. 5. – P. 40–45
20. VR Training – Medical | Arch Virtual VR Training and Simulation for Education and Enterprise [Електронний ресурс] – <https://archvirtual.com/wp-content/uploads/2018/07/Envision3-510x382.jpg> (дата звернення: 13.01.2025).
21. VR апаратура [Електронний ресурс] – <https://www.instavr.co/wp-content/uploads/2018/02/VR-headset-graphic.jpg> (дата звернення: 13.01.2025).
22. NIFE Hannover [Електронний ресурс] – <https://nife-hannover.de/en/> (дата звернення: 20.11.2024).
23. Institut für Mehrphasenprozesse (IMP) der Leibniz Universität Hannover - Kurzporträt [Електронний ресурс] – <https://kryobanken.de/mitglieder/leibniz->

- universitaet-hannover-institut-fuer-mehrphasenprozesse-imp/ (дата звернення: 20.11.2024).
24. DAAD Eastern Partnership 2024 [Електронний ресурс] – <https://www.daad.de/de/infos-services-fuer-hochschulen/weiterfuehrende-infos-zu-daad-foerderprogrammen/ostpartnerschaften/> (дата звернення: 20.11.2024).
 25. Avrunin, L. Aver'yanova, V. Golovenko, O. Sklyar E-Learning of Functioning Principles Medical Intrascopy Systems//2-th International Conference «Modern (e-) Learning», July, 2007, Varna, Bulgaria, ITHEA SOFIA, – P. 134-137.
 26. NIFE List of equipment [Електронний ресурс] – <https://www.imp.uni-hannover.de/en/forschung/apparative-ausstattung/translate-to-english-nife-ausstattungsliste#c246652> (дата звернення: 20.11.2024).
 27. Електропоратор BTXGeminiSCUserManual[Електронний ресурс] – <https://assets.fishersci.com/TFS-Assets/CCG/EU/BTX-Molecular-Delivery-Systems/manuals/BTX%20Gemini%20X2%20SC%20User%20Manual.pdf> (дата звернення: 08.10.2024).
 28. Beckman Coulter Multisizer 3 Particle Counter [Електронний ресурс] – <https://www.gmi-inc.com/product/beckman-coulter-multisizer-3-particle-counter/> (дата звернення: 08.10.2024).
 29. Labelme [Електронний ресурс] – <https://github.com/wkentaro/labelme> (дата звернення: 28.11.2024).
 30. COCO [Електронний ресурс] – <https://cocodataset.org/> (дата звернення: 28.11.2024).
 31. Detectron2 [Електронний ресурс] – <https://github.com/facebookresearch/detectron2> (дата звернення: 12.12.2024).
 32. Посохова К. А. Детекція об'єктів та інтеграція машини станів для віртуального асистента в флюорисцентній лабораторії на основі фреймворку detectron2 / К. А. Посохова, М.Ю. Тимкович, О. Г. Аврунін //

- Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 6 листопада 2024 р. – Харків : Держ. біотехнологічний ун-т., 2024. – С. 243-244
33. Принцип роботи Detectron2 [Електронний ресурс] – <https://www.researchgate.net/profile/Deniz-Iren/publication/361782090/figure/fig3/AS:1177722646732815@1657802368627/Schematic-architecture-of-Detectron2-The-backbone-network-provides-feature-maps-P1-P5.png> (дата звернення: 12.12.2024).
34. Faster R-CNN [Електронний ресурс] – <https://paperswithcode.com/lib/detectron2/faster-r-cnn> (дата звернення: 12.12.2024).
35. Принцип роботи Faster R-CNN [Електронний ресурс] – https://production-media.paperswithcode.com/methods/Screen_Shot_2020-05-24_at_5.10.31_PM.png (дата звернення: 15.12.2024).
36. A. Lytvyn, K. Posokhova, M. Tymkovych, O. Avrunin, O. Hubenia and B. Glasmacher, "Object Detection for Virtual Assistant in Cryolaboratory Based on Detectron2 Framework," 2024 IEEE 17th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv, Ukraine, 2024, pp. 534-539, doi: 10.1109/TCSET64720.2024.10755685 (дата звернення: 27.12.2024).
37. Гауссівський розподіл [Електронний ресурс] – <https://github.com/graphdeco-inria/gaussian-splatting> (дата звернення: 27.12.2024).
38. Принцип роботи Гауссівського розподілу [Електронний ресурс] – <https://arxiv.org/html/2403.17888v2> (дата звернення: 29.12.2024).
39. Finite-State Machine – FSM [Електронний ресурс] – [https://eclipse.dev/etrice/docs/concepts/finite-state-machines/#:~:text=A%20finite%2Dstate%20machine%20\(FSM,a%20finite%20number%20of%20states.](https://eclipse.dev/etrice/docs/concepts/finite-state-machines/#:~:text=A%20finite%2Dstate%20machine%20(FSM,a%20finite%20number%20of%20states.) (дата звернення: 29.12.2024).

40. Finite-State Machine – FSM [Електронний ресурс] – https://bytes.usc.edu/files/ee109/slides/EE109Unit5_StateMachines_Notes.pdf (дата звернення: 29.12.2024).
41. Eltner, A., Sofia, G. (2020). Chapter 1 - Structure from motion photogrammetric technique. In P. Tarolli & S. M. Mudd (Eds.), *Developments in Earth Surface Processes* (Vol. 23, pp. 1-24). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64177-9.00001-1>. ISBN: 9780444641779. ISSN: 0928-2025.
42. Метод фотограмметрії Structure from Motion (SfM) [Електронний ресурс] – <https://geoai.au/photogrammetry-method-benefit-and-application/> (дата звернення: 29.12.2024).
43. COLMAP Documentation [Електронний ресурс] – <https://colmap.github.io/> (дата звернення: 29.12.2024).
44. SUPERSPLAT [Електронний ресурс] – <https://github.com/playcanvas/supersplat> (дата звернення: 29.12.2024).
45. Різниця між хмарами точок (Point Cloud) і Гауссівським розподілом (Gaussian Splatting) [Електронний ресурс] – <https://repo-sam.inria.fr/fungraph/3d-gaussian-splatting/>, <https://arxiv.org/html/2402.13255v1#bib.bib33> (дата звернення: 29.12.2024).