

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Цехмистро Ростислава Вікторовича на тему «Методи та засоби локалізації та класифікації об'єктів за допомогою нейронних мереж в умовах повітряної зйомки», представлену на здобуття ступеня доктора філософії

**в галузі знань 12 Інформаційні технології
за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки**

На засіданні кафедри інформаційно-комунікаційних технологій ім. О.О. Зеленського за участі: голова засідання - д-р техн. наук, професор, зав. кафедри Лукін В.В., канд. техн. наук, доцент Васильєва І.К., канд. техн. наук, доцент Єремєєв О.І., канд. техн. наук, доцент Зряхов М.С., канд. техн. наук, доцент Хуторненко С.В., канд. техн. наук, доцент Воробйов А.В., д-р техн. наук, професор Тоцький О.В., канд. техн. наук, доцент Абрамова В.В., канд. техн. наук, доцент Абрамов С.К., канд. техн. наук, доцент Рубель О.С., канд. техн. наук, доцент Проскура Г.А., канд. техн. наук, доцент Наumenко В.В., канд. техн. наук, ст. викладач Кожемякіна Н.В., д-р філос. наук, ст. викладач Рубель А.С., асистент Коваленко Б.В., аспірант Ребров В.С., аспірант Цехмистро Р.В., а також запрошеного фахівця: доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри програмних засобів Національного університету «Запорізька політехніка» Субботіна Сергія Олександровича, відбулася публічна презентація дисертаційної роботи Цехмистра Ростислава Вікторовича на тему **«Методи та засоби локалізації та класифікації об'єктів за допомогою нейронних мереж в умовах повітряної зйомки»**.

На підставі обговорення змісту презентації дисертаційної роботи ухвалено такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації (результати голосування - одноголосно).

1. Актуальність теми дослідження

З розвитком технологій, які дозволяють отримувати більше інформації з зображень, зростають також і потреби в обробці цієї інформації та підвищенні ефективності такої обробки. Локалізація та класифікація об'єктів є одними з найпоширеніших задач отримання інформації з зображень. З розвитком згорткових нейронних мереж, що дозволяють досить надійно і швидко локалізувати та класифікувати об'єкти, задачі набули ширшого використання та популярності. Отримана інформація про об'єкт на зображенні може бути використана в різноманітних сферах. Це може бути екологічний моніторинг земної поверхні, забезпечення правопорядку, пошук вибухонебезпечних предметів та інші. Така широта використання зумовлює потребу в точних та швидких методах локалізації та класифікації. Часто такі задачі вирішуються в цільових програмах досліджень які фінансуються як Україною, так і європейськими державами. В якості прикладу можна привести програми, що були фінансовані державним бюджетом України та виконувались кафедрою інформаційно-комунікаційних технологій ім. О.О. Зеленського та кафедрою

комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут» протягом останніх років, це - «Методи та засоби виявлення вибухонебезпечних предметів з використанням багатофункційних інтелектуальних систем БПЛА» (ДР № 0123U101992) та «Інтелектуальні методи обробки багатоканальних зображень на основі карт візуальної уваги та баз зображень із спотвореннями» (ДР № 0124U001094). Обидві теми стосуються підвищення точності локалізації та класифікації об'єктів та розширення сфери застосувань таких методів.

На сьогоднішній день для розв'язання задачі локалізації та класифікації об'єктів головним чином використовують нейронні мережі. Існуючі методи дозволяють проводити локалізацію та класифікацію багатьох типів об'єктів різного розміру, але дослідження, які проводяться, стосуються загалом точності нейронних мереж на широкому діапазоні розмірів. Дослідники також пропонують методи підвищення точності локалізації малорозмірних об'єктів, але здебільшого вони стосуються саме процесу локалізації без визначення граничних значень розміру об'єкту. Тому є потреба в дослідженні методів локалізації та класифікації об'єктів на даних, що мають широкий діапазон розмірів об'єктів та визначення граничних значень розмірів об'єктів в пікселях, що дозволить використовувати метод обробки таких зображень з більшою точністю залежно від умов зйомки.

Також відомо, що шум може знижувати точність локалізації та класифікації, але не проаналізовано детально, наскільки такий вплив може бути вагомим. Досить багато досліджень присвячено темі визначення необхідності застосування методів фільтрації при роботі з системами локалізації та класифікації, але досить мало інформації про визначення впливу таких методів в різних умовах. Тому важливим дослідженням є оцінка типу та інтенсивності завад, а також їх впливу на точність роботи методу локалізації та класифікації на основі нейронних мереж. Актуальним є також вдосконалення методів локалізації та класифікації шляхом застосування фільтрів та відповідно визначення впливу цих методів на точність локалізації та класифікації.

Ще одним фактором, що також може вплинути на якість локалізації та класифікації, особливо в умовах повітряної зйомки, є погода, зокрема туман та дощ. Дослідження, які стосуються цього впливу, не мають широкого поширення, а тому є важливою та актуальною задачею є визначення, наскільки сильним може бути вплив природніх факторів на якість локалізації та класифікації. Важливою темою також є дослідження методів зменшення впливу таких факторів та вплив застосування таких методів на точність локалізації та класифікації.

Важливим параметром, особливо в умовах обмежених обчислювальних ресурсів, є обчислювальне навантаження та кількість параметрів нейронної мережі, що використовується в методі локалізації та класифікації. У випадку з літальними апаратами, де важлива кожна характеристика при проектуванні його літальних властивостей, важко підібрати потужні пристрої для виконання обчислень. Використання ж важких нейронних мереж на потужних пристроях,

що розміщені стаціонарно, є досить поширеною задачею, але не у всіх випадках може бути використаний такий підхід. Також можливим є використання підходу з розрахунком на пристрої управління літальним апаратом, часто цю роль виконує смартфон. Але такі пристрої також мають обмежену обчислювальну здатність.

Дані обставини зумовили актуальність досліджень, проведених Цехмистро Ростиславом Вікторовичем. У зв'язку з цим, актуальне науково-прикладне завдання, яке вирішується, полягає у дослідженні та вдосконаленні методів та засобів локалізації та класифікації об'єктів на зображеннях, що отримані в умовах повітряної зйомки.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дослідження, що представлені в дисертаційній роботі, проводились на кафедрі інформаційно-комунікаційних технологій ім. О. О. Зеленського Національного аерокосмічного університету «ХАІ» і були відображені в наступних звітах про НДР: «Інтелектуальна система комплексної автоматичної обробки візуальних мультимедійних даних» (2020-2021, № держреєстрації 0119U100940), «Методи та засоби виявлення вибухонебезпечних предметів з використанням багатофункційних інтелектуальних систем БПЛА» (2024, № держреєстрації 0123U101992), «Інтелектуальні методи обробки багатоканальних зображень на основі карт візуальної уваги та баз зображень із спотвореннями» (2024-2026, № держреєстрації 0124U001094).

3. Наукова новизна отриманих результатів

Вперше запропоновано метод визначення характеристик системи формування зображень на основі експериментально визначених мінімально допустимих розмірів об'єктів (розміру в пікселях) на кольорових зображеннях, який відрізняється врахуванням статистичних результатів дослідження на базах великого розміру з широким спектром розмірів об'єктів, що дозволяє обґрунтувати характеристики польоту носія й встановленого на ньому сенсора для забезпечення точної роботи методів локалізації та класифікації малорозмірних об'єктів.

Отримав подальший розвиток метод та засіб оцінки статистичних та спектральних характеристик шуму на зображеннях всліпу, що дозволяє визначити тип шуму та його інтенсивність, який відрізняється використанням навченої нейромережі для оцінки інтенсивності шуму, що дозволило використовувати отриману інформацію для обґрунтованого застосування методу попередньої обробки зображення на основі BM3D-фільтра, що призводить до підвищення точності локалізації та класифікації об'єктів.

Вдосконалено метод тайлової локалізації та класифікації об'єктів з подальшою агрегацією результатів, що дозволяє підвищити точність при роботі з малорозмірними об'єктами, який на відміну від інших методів може використовувати інформацію про характеристики системи формування

зображень та визначати доцільність тайлової обробки, що для певних типів нейронних мереж дає змогу підвищити точність локалізації та класифікації без перенавчання моделі.

4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи

В результаті **проведеного порівняльного аналізу** основних характеристик чотирьох популярних типів різних архітектур ЗНМ з різними модифікаціями кожної з них у застосуванні до задач локалізації та класифікації характерних типів об'єктів, які можуть бути присутніми на зображеннях, отриманих в умовах повітряної зйомки було надано рекомендації по вибору ЗНМ в залежності від пріоритету вимог.

В результаті **проведеного дослідження** точності локалізації та класифікації малорозмірних об'єктів на зображеннях з БПЛА, визначено мінімальний розмір об'єкту в пікселях, який дозволяє точно локалізувати та класифікувати об'єкт; а також наведено рекомендації щодо умов зйомки.

В результаті **проведеного дослідження** характеристик локалізації та класифікації об'єктів в умовах впливу завад, визначено рівень завад, для яких починає спостерігатися різке погіршення точності локалізації та класифікації, що дозволяє виділити методи, які характеризуються більшою стійкістю до завад та спотворень, та рекомендувати їх до практичного застосування.

В результаті **дослідження** впливу погодних факторів (дощу та туману) на характеристики локалізації та класифікації доведено, що негативний вплив зазвичай є невеликим, а відомі методи попередньої обробки для усунення негативного впливу не є ефективними.

5. Апробація/використання результатів дисертації

Основні результати роботи представлені на конференціях:

- «Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)» (2019, Львів, Україна),
- «Electronic Imaging» (2021, NYC, USA),
- «15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)» (2020, Львів-Славське, Україна),
- «International Symposium of Space Optical Instruments and Applications» (2022, Beijing, China),
- «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» (2025, Баку – Харків – Жиліна)

Розроблені методи стиснення з втратами і прогнозування ефективності обробки та стиснення зображень були використані при виконанні науково-дослідної роботи у Інституті радіофізики і електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України, а також впроваджені у навчальному процесі Національного аерокосмічного університету "Харківський авіаційний інститут".

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертація Р. В. Цехмистра є оригінальною роботою, виконана здобувачем самостійно й доброчесно, текст рукопису дисертаційної роботи на містить ознак академічного шахрайства. Роботу передано експерту для проведення науково-технічної експертизи щодо збігів з Internet-джерелами, про що буде надано відповідний звіт.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

За результатами досліджень опубліковано 10 наукових публікацій, у тому числі:

- 2 статті в наукових періодичних виданнях України категорії А, що індексується в Scopus (Q3) (зі співавторами);
- 3 статті в наукових періодичних виданнях України категорії Б (зі співавторами);
- 4 публікацій в працях міжнародних конференцій, матеріали яких включено у базу даних Scopus (з співавторами);
- 1 публікація в працях міжнародної конференції (з співавторами);

Статті у наукових періодичних виданнях:

1. R. Tsekhmystro, O. Rubel, and V. Lukin, “Study of methods for searching and localizing objects in images from aircraft using convolutional neural networks,” *Radioelectronic and Computer Systems*, vol. 2024, no. 1, pp. 87–98, 2024. doi: 10.32620/reks.2024.1.08 (Scopus).

У роботі представлено огляд нейромережевих методів локалізації та класифікації об’єктів на зображеннях, отриманих за допомогою повітряної зйомки.

2. R. Tsekhmystro, O. Rubel, and V. Lukin, “Study of the dependence of accuracy in vehicles search on the size of the object using UAV images,” *Aerospace Technic and Technology*, no. 3, pp. 89–98, 2024. doi: 10.32620/aktt.2024.3.08 (фаховий).

У роботі розглянуто точність нейромережевих методів локалізації та класифікації техніки. Визначено вплив розміру об’єкту на точність локалізації та класифікації.

3. R. Tsekhmystro, O. Rubel, and V. Lukin, “Investigation of the effect of object size on accuracy of human localisation in images acquired from unmanned aerial vehicles,” *Aerospace Technic and Technology*, no. 2, pp. 83–90, 2024. doi: 10.32620/aktt.2024.2.09 (фаховий).

У роботі розглянуто точність нейромережевих методів локалізації та класифікації людей. Визначено вплив розміру об’єкту на точність локалізації та класифікації.

4. R. Tsekhmystro, O. Rubel, O. Prysiazhniuk, and V. Lukin, “Impact of distortions in UAV images on quality and accuracy of object localization,” *Radioelectronic and Computer Systems*, vol. 2024, no. 4, pp. 59–67, 2024. doi: 10.32620/reks.2024.4.05 (Scopus).

У роботі представлено дослідження впливу шуму на якість локалізації та класифікації об’єктів на зображеннях, що отримані в умовах повітряної зйомки.

5. Р. В. Цехмистро, В. В. Абрамова, А. С. Рубель, М. Л. Усс, Г. А. Проскура, та О. С. Рубель, “Оцінка характеристик шуму на реальних зображеннях з використанням згорткової нейронної мережі на мобільній платформі,” *Radioelectronic And Computer Systems*, no. 2, pp. 60–70, Jun. 2019. doi: 10.32620/reks.2019.2.05 (Scopus).

У роботі досліджено характеристики шуму, зокрема його тип та інтенсивність на зображеннях з різних сенсорів камер.

Статті у працях міжнародних конференцій, які проіндексовано у Scopus:

6. O. Rubel, R. Tsekhmystro, V. Lukin, and K. Egiazarian, “Benchmark of Similar Blocks Search under Noisy Conditions,” *Electronic Imaging*, vol. 33, no. 10, pp. 238-1-238, 2021. doi: 10.2352/issn.2470-1173.2021.10.ipas-238 (Scopus).

У роботі розглянуто метрики схожості блоків для алгоритму придушення шуму BM3D. Представлено реалізацію розрахунку метрик та алгоритму пошуку використовуючи технологію nVidia CUDA.

7. R. Tsekhmystro, O. Rubel, V. Abramova, M. Zriakhov and M. Uss, "Mobile Deployment of NoiseNet: Noise Characteristics Assessment in Real-World Images," *2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, Lviv, Ukraine, 2019, pp. 1112-1117, doi: 10.1109/UKRCON.2019.8879797 (Scopus) .

Робота присвячена запуску нейронної мережі для визначення інтенсивності завад NoiseNet на мобільній платформі.

8. R. Tsekhmystro, V. Oliynyk, G. Proskura and O. Rubel, "Web Assembled Benchmark for Image Visual Quality Assesment, Prediction and Improvement," *2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, Lviv-Slavske, Ukraine, 2020, pp. 791-795, doi: 10.1109/TCSET49122.2020.235543 (Scopus).

В роботі представлено ВЕБ-додаток для оцінки якості зображення, що використовує методи оцінки типу завад та нейронну мережі для оцінки інтенсивності завад NoiseNet.

9. A. Rubel, O. Rubel, R. Tsekhmystro, V. Rebrov, and V. Lukin, “Automatic Decision Undertaking on Expedience of Image Denoising Based on Filter Efficiency Prediction,” *Springer Proceedings in Physics. Springer Nature Singapore*, pp. 504–524, 2023. doi: 10.1007/978-981-99-4098-1_44 (Scopus).

В роботі представлено метод оцінки ефективності фільтрації без фактичного її проведення.

Статті у працях міжнародних конференцій:

10. R. Tsekhmystro, V. Lukin, “Object localization and recognition in UAV-based noisy images,” *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління*, vol 3, pp. 18-19, 2025.

У роботі представлено вплив застосування методу видалення шуму та точність локалізації та класифікації.

8. Висновок наукового керівника

Виконання індивідуального навчального плану, індивідуального плану наукової роботи, досягнення результатів навчання за відповідною науково-

освітньою програмою та написання дисертації Цехмистром Ростиславом Вікторовичем вважаю успішним. Дисертаційна робота є результатом самостійного дослідження, завершеною науковою працею, яка містить наукову новизну. Вона виконана на високому науковому рівні та відповідає всім установленим вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, й може бути рекомендована до захисту, а її автор Цехмистро Ростислав Вікторович – до присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

9. Загальний висновок

Отже, вважаємо, що дисертаційна робота Цехмистро Ростислава Вікторовича на тему «Методи та засоби локалізації та класифікації об'єктів за допомогою нейронних мереж в умовах повітряної зйомки», представлена на здобуття ступеня доктора філософії, відповідає вимогам Порядку присудження наукового ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44). Відтак, вона може бути представлена до захисту в разовій спеціалізованій раді для присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Головуючий на засіданні
завідувач кафедри інформаційно-комунікаційних
технологій ім. О. О. Зеленського Національного
аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
д.т.н, професор



Володимир ЛУКІН