

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу **Сизоненко Олександри Дмитрівни** на тему
**«Розроблення технології та програмних засобів виявлення та
розпізнавання об'єктів у режимі реального часу»**, представлену на
здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
121 Інженерія програмного забезпечення

Актуальність теми дисертації. Дисертація присвячена створенню ефективної та швидкої інформаційної технології та програмного забезпечення для виявлення, розпізнавання та відстеження об'єктів у реальному часі. У дослідженні розглядаються технології глибинного навчання та проводиться аналіз поточного стану, а також пропонуються методи для покращення роботи програмного забезпечення для виявлення, розпізнавання та відстеження об'єктів у реальному часі.

Актуальність теми дослідження обумовлена протиріччям між ускладненням моделей глибинного навчання при використанні існуючих програмних рішень та зростанням труднощів інтерпретації цих моделей у прикладному застосуванні, що супроводжується підвищенням швидкості процедури розпізнавання та відстеження об'єктів у реальному часі.

Застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) зростає, і виникає потреба в адаптації алгоритмів машинного навчання та моделей глибинного навчання для використання на борту БПЛА з урахуванням обмежених обчислювальних ресурсів та специфіки організації відеопотоку даних. У роботі наголошується на важливості існуючих архітектурних рішень згорткових нейронних мереж при використанні методів та алгоритмів машинного навчання.

Протиріччя вирішується шляхом додавання умов для обробки великого набору зображень відеопотоку, який постійно оновлюється і може містити інформацію про об'єкти різного розміру та форми для розпізнавання та відстеження. Виділяється необхідність використання адаптованої функції втрат у запропонованому програмному рішенні для підтримки прийняття рішень на основі отриманих даних.

Актуальним є завдання об'єднання ознак згорткових нейронних мереж для просторових та часових потоків.

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

Запропоновані технологія та модель були розроблені в рамках досліджень наукової школи «Інформаційні технології обробки статистичних даних», яка діє на кафедрі математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Дисертаційна робота виконана відповідно до поточних і перспективних планів наукової та науково-технічної діяльності Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, спрямованих на подальший розвиток програмної інженерії.

Формулювання наукової задачі, нове вирішення якої одержане в дисертації.

Наукова задача роботи полягає у розробці та обґрунтуванні методів і алгоритмів підвищення точності виявлення, розпізнавання та відстеження об'єктів в режимі реального часу та реалізації відповідної технології у вигляді програмного засобу. *Об'єктом дослідження* є процеси оброблення даних в задачах виявлення, розпізнавання та відстеження об'єктів у режимі реального часу. *Предметом дослідження* є моделі, алгоритми та програмні засоби використання згорткових нейронних мереж для вирішення задачі розпізнавання та відстеження об'єкта.

Основними завданнями дослідження є:

1. Провести аналіз існуючих технічних та програмних рішень виявлення об'єктів у відеопотоці даних та подальшого їх розпізнавання та відстеження.
2. Провести аналіз алгоритмів та структур даних для врахування обмеженості на обчислювальні ресурси та специфіку організації отриманого відеопотоку даних.
3. Виконати препроцесінг зображень для навчання моделі та вирішення задачі розпізнавання та відстеження об'єктів відеопотоку даних з БпЛА.
4. Удосконалити існуюче архітектурне рішення реалізації згорткової нейронної мережі при використанні методів та алгоритмів машинного навчання.
5. Удосконалити умову існуючого алгоритму щодо об'єктів різного розміру та форми задачі опрацювання набору зображень відеопотоку даних.
6. Розробити програмне рішення щодо підключення адаптованої функції втрат для підтримки прийняття рішень на основі спостережених даних.
7. Розробити програмне рішення щодо підключення методу злиття ознак згорткових нейронних мереж для просторового та часового потоків.
8. Реалізувати технологію розпізнавання та відстеження об'єктів з використанням сучасних технологій комп'ютерного зору та штучного інтелекту.
9. Провести експеримент та оцінити ефективність запропонованої технології розпізнавання та відстеження об'єктів відеопотоку даних з БпЛА.

Наукова новизна отриманих автором результатів. У дисертаційній роботі вирішено нову актуальну наукову задачу, що полягає у розробці та обґрунтуванні методів і алгоритмів підвищення точності виявлення,

розпізнавання та відстеження об'єктів в режимі реального часу та реалізації відповідної технології у вигляді програмного засобу.

Основні наукові результати дисертації полягають у наступному.

1. Вперше розроблено архітектурне рішення побудови нейронної згорткової мережі задачі виявлення, розпізнавання та відстеження об'єктів в режимі реального часу, що відрізняється від існуючого рішення тим, що використовує більшу кількість блоків розпізнавання об'єктів різного розміру, яке є оптимізованим для задач конкретної предметної області.

2. Вперше обґрунтовано можливість використання в розробленій технології PFNB-блоку, який базується на архітектурному рішенні Faster-Net, що використовує багатомасштабну мережу об'єднання ознак для демонстрації покращеної точності розпізнавання у порівнянні з базовою технологією.

3. Вперше сформований власний набір даних для апробації розробленої технології, починаючи з етапу розпізнавання об'єктів у відеопотоці, який включає об'єкти різного масштабу визначеної предметної області, що підтверджує ефективність розробленої моделі.

4. Вперше запропоновано архітектуру кросплатформної бібліотеки для реалізації технології виявлення, розпізнавання та відстеження об'єктів, яка є п'ятимасштабною структурою і містить механізм уваги ViFormer з малою обчислювальною потужністю (зменшує розмір моделі на 0,4 МБ на невеликому наборі даних), що дозволяє покращити точність виявлення малих об'єктів та покращує увагу до ключової інформації на карті об'єктів і збільшує mAP50 на 0,5%.

5. Вперше проведено моделювання порівняльних експериментів на YOLO v9 на невеликому наборі даних, які відрізняються використанням різних видів функцій втрат при зберіганні інших умов навчання незмінними, що показало використання функції регресійних втрат WIoU v3 найефективнішою для побудованої моделі і значення mAP моделі при використанні WIoU v3 на 0,7% вище, ніж при використанні CIoU.

6. Вперше проведено моделювання експериментів при додаванні до базової моделі блоків детектування групи PFNB, які об'єднують дрібні особливості шарів нейронної згорткової мережі, що збільшує на невеликому наборі даних значення mAP на 4,3% та при їх одночасному використанні розмір моделі і кількість параметрів зменшується зменшується на 5% (1 MB) і кількість параметрів зменшується більше ніж на 7,2% ($0,8 \cdot 10^6$).

7. Вперше проведено моделювання експериментів на покращеній моделі YOLO v9 P, яка відрізняється від базової моделі YOLO v9 функцією втрат, методом злиття та модифікованою архітектурою блоку розпізнавання, що на невеликому наборі даних дозволило отримати покращення значень mAP на 7,7% і AP від 2,5% до 14,1%.

Практичне значення одержаних результатів. У дисертаційній роботі створено програмний засіб інформаційної технології розпізнавання та відстеження об'єктів в режимі реального часу.

Розроблене програмне забезпечення для вирішення задачі виявлення, розпізнавання та відстеження об'єктів у режимі реального часу дозволяє адаптувати розроблені рішення до існуючих систем ідентифікації об'єктів.

Результати роботи отримали впровадження в освітній процес кафедри математичного забезпечення ЕОМ факультету прикладної математики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара при викладанні дисциплін «Алгоритми аналізу та методи опрацювання зображень» «Системи штучного інтелекту», «Глибинне навчання» та виконанні кваліфікаційних робіт здобувачів.

Розроблені в дисертаційній роботі технології та програмні засоби отримали впровадження у діяльності ТОВ «КАНЬОН ІНЖИНІРІНГ», зокрема у процесі розробки проєкту «FridgeEye», що дозволяє проводити розпізнавання об'єктів у реальному часі та використовувати в інтелектуальних системах, що є обмеженими за ресурсами.

Наукові результати дослідження є внеском у розвиток архітектурних рішень задачі виявлення, розпізнавання та відстеження об'єктів у режимі реального часу. Дослідження може бути використане як основа для подальших наукових досліджень у галузі комп'ютерного зору та штучного інтелекту.

В якості можливих напрямків продовження дослідження можна відмітити актуальність розроблення програмного забезпечення для повністю та напівавтономних БПЛА.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються. Дисертація виконана на належному науковому рівні та відповідає вимогам досліджень третього рівня вищої освіти. Надійність і достовірність отриманих результатів гарантуються використанням апробованих моделей представлення знань; правильними математичними формулюваннями задач; застосуванням теоретично обґрунтованих методів та алгоритмів; контрольованою точністю обчислень; високим ступенем узгодженості між теоретичними і експериментальними результатами; а також відповідністю отриманих результатів до відомих результатів інших авторів із відкритих джерел.

Особистий внесок здобувача. Усі результати дисертаційної роботи, що виносяться на захист, отримані автором особисто або за безпосередньої участі. Дисертаційна робота є завершеним дослідженням, виконаним автором самостійно відповідно до програми спланованих, проведених і узагальнених досліджень.

Дисертантом проаналізовано сучасні технології визначення місцезнаходження об'єкта, запропоновано стратегії вибору архітектури мережі, проведено порівняння підходів, оцінено GPS-розташування зображень, розроблено систему на базі Faster R-CNN, використано алгоритм k-найближчих сусідів із сіамською нейронною мережею, розглянуто розробку програмного продукту з багатопотоочною зв'язкою Faster R-CNN і методу різниці кадрів, порівняно модифікації моделі виявлення об'єктів, представлено модель позиціонування об'єктів у реальному часі, запропоновано методи прив'язки зображень за метаданими, реверсивним пошуком і об'єктами-якорями, розглянуто продукт на базі Faster R-CNN для виявлення об'єктів і експеримент з геолокації.

Апробація матеріалів дисертації. Основні результати дисертаційного дослідження обговорено на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях, таких як «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем MPZIS» (м. Дніпро, 2021, 2022, 2023 рр.), Всеукраїнська науково-методична конференція «Проблеми математичного моделювання» (м. Кам'янське, 2022 р.), наукова конференція за підсумками науково-дослідної роботи ДНУ імені Олеся Гончара за 2022 рік «Математичні та програмні засоби обробки і аналізу даних» (м. Дніпро, 2022 р.). Результати дисертації також обговорювалися на наукових семінарах факультету прикладної математики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Мова і стиль роботи. Матеріали роботи викладено логічно, представлено достатньою мірою і написано гарною українською мовою з використанням сучасної наукової термінології. Зміст дисертації відповідає вимогам, що висуваються до наукових праць такого рівня, а також вирізняється послідовністю, системністю та обґрунтованістю та висвітлює основні результати наукових досліджень.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 9 наукових, серед яких 4 статті в періодичних наукових журналах і збірниках наукових праць категорії Б, 5 публікацій у працях і матеріалах наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота викладена на 172 сторінках машинописного тексту, складається зі вступу, трьох розділів, висновків, переліку використаних джерел та двох додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 142 сторінки машинописного тексту. Робота ілюстрована 58 рисунками та 14 таблицями. Список використаних джерел охоплює 47 найменувань, з них 10 кирилицею та 37 латиницею.

У вступі обґрунтовані актуальність теми, мета та завдання роботи, наведені наукова новизна, практичне значення, особистий внесок дисертанта та апробація роботи. В основу дисертаційної роботи покладені результати,

отримані автором під час виконання наукових досліджень, проведених на кафедрі математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

У *першому розділі* автором розглянуто спеціалізовану літературу та інформаційні технології для визначення актуальності теми дослідження даної дисертаційної роботи. Розглянуто існуючі методи та рішення для виконання поставленої задачі. Наведено статистичні дані та висвітлено проблематику задач комп'ютерного зору в сфері БПЛА з описом їх причин на практиці. Поставлено формальну задачу для виявлення та розпізнавання об'єктів на зображеннях та розглянуто методи та алгоритми рішення задачі, обрано архітектурне рішення.

У *другому розділі* автором проведено дослідження обчислювальних аспектів методів виявлення, розпізнавання та відстеження. Цей розділ містить детальний опис обраних методів (YOLO та Faster R-CNN) для виявлення, розпізнавання та відстеження об'єктів у відеоданих з БПЛА в реальному часі. Також представлено практичне порівняння цих підходів і програмних рішень, результатом якого є розробка технології для досягнення цілей дисертаційного дослідження.

У *третьому розділі* представлено процес розроблення технології реалізації програмного засобу розпізнавання та відстеження, що включає опис підготовки набору даних, вибору середовища та технологій розроблення програмного продукту, готових програмних модулів та результатів експерименту.

Висновки по роботі чіткі, логічні і витікають із теоретичних та експериментальних даних, отриманих автором.

Окремі дискусійні питання і зауваження.

1. В роботі наявні орфографічні та пунктуаційні помилки, розбіжності у позначеннях та оформленні формул, наприклад, стор.39 формула 1.6, стор.121 формула 2.39, стор.89, 90 та 129 метрика IoU.

2. Не зрозуміло, чим обумовлений вибір об'єктів (пішохід, автомобіль та велосипед) для аналізу алгоритмів у розділі 2.

3. Щодо розділу 3 не зрозуміло, чи були обрані об'єкти розпізнавання одночасно на сцені, чи було їх декілька? Як працює система, якщо об'єктів різного типу на сцені багато?

4. Чи є найкраще значення точності виявлення $P = 51,3\%$ (стор.150 табл. 3.4) прийнятним?

5. Чим можна пояснити таку різницю в точності розпізнавання для машин та вантажівок (стор.151 табл.3.5)? Чи машина є узагальненим терміном, який включає фургон, вантажівку та автобус?

6. Яким чином можна використати запропоноване програмне забезпечення для конкретного БПЛА?

Зазначені зауваження не впливають на загальний рівень поданої дисертаційної роботи. Автором досягнуто значних результатів, які мають високу наукову цінність. Це дозволяє оцінити дисертацію як цілісне, завершене та актуальне наукове дослідження.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Сизоненко Олександри Дмитрівни на тему «Розроблення технології та програмних засобів виявлення та розпізнавання об'єктів у режимі реального часу» є актуальною за змістом, містить наукову новизну, основні результати та висновки дисертації обґрунтовані, мають теоретичне та практичне значення. Рецензована дисертаційна робота є завершеною науковою працею. Оформлення дисертації відповідає вимогам, затверджених наказом Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017 року. Методичний рівень, наукова новизна і практичне значення, рівень оприлюднення результатів рецензованої роботи відповідає вимогам до дисертацій ступеня доктора філософії згідно з вимогами Постанови Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44 (зі змінами) «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а здобувач Сизоненко Олександра Дмитрівна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

Рецензент

доцент кафедри

математичного забезпечення ЕОМ

Дніпровського національного університету

імені Олеся Гончара

кандидат технічних наук, доцент



Світлана АНТОНЕНКО

Підпис канд. техн. наук, доцента Антоненко С.В. засвідчую

Проректор з наукової роботи

Дніпровського національного університету

імені Олеся Гончара

кандидат біологічних наук, доцент



Олег МАРЕНКОВ