

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. У сучасному світі існує багато практичних задач розпізнавання об'єктів у режимі реального часу, постійно зростає кількість сфер діяльності, у яких суттєву допомогу надають безпілотні летальні апарати (БПЛА), наприклад, зрошення сільськогосподарських угідь, гасіння пожеж, доставка вантажів, пошук та порятунок людей, моніторинг районів, і навіть під час бойових дій. Однак, точне та швидке виявлення, розпізнавання та відстеження об'єктів у відеопотоці даних в режимі реального часу залишається актуальним напрямом досліджень, який потребує подальшого вдосконалення.

Дисертаційна робота присвячена розробленню ефективної та швидкої інформаційної технології та програмного засобу виявлення, розпізнавання та відстеження об'єктів у режимі реального часу на основі методів глибинного навчання.

Актуальність теми дослідження полягає у тому, що поточний розвиток моделей глибинного навчання для комп'ютерного зору націлений на підвищення точності виявлення, розпізнавання та відстеження об'єктів, проте практичний аспект використання таких алгоритмів має ряд проблем, адже підвищення точності, в загальному випадку досягається шляхом зниження швидкодії. Тому розроблення та дослідження ефективності нових універсальних алгоритмів, технологій та програмних засобів, що органічно поєднують властивості класичних методів, алгоритмів машинного навчання та моделей глибинного навчання і на їх основі побудованих відповідних програмних засобів, – є актуальною, як в теоретичному так і в прикладному застосуванні.

Наукова новизна отриманих автором результатів. Отримані результати дисертаційного дослідження демонструють наступні наукові досягнення:

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 МБ) 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 результатів роботи. У дисертаційній роботі створено інформаційну технологію та програмний засіб виявлення, розпізнавання та відстеження об'єктів у режимі реального часу на основі удосконалення сучасних методів глибинного навчання та нових архітектурних рішень.

Сформовано набір даних для апробації результатів розпізнавання об'єктів у відеопотоці, який включає об'єкти різного масштабу визначеної предметної області.

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.

Також 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.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються. Дисертаційна робота виконана на належному рівні і відповідає вимогам досліджень третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти.

Вважаю, що одержані результати в достатній мірі є обґрунтованими і достовірними. Це забезпечується строгістю та коректністю постановки задач, застосуванням теоретично обґрунтованих алгоритмів, методів та технології інженерії програмного забезпечення, практичною апробацією запропонованої технології, а також відповідністю отриманих результатів до відомих результатів інших авторів із відкритих джерел.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійною науковою працею, в якій висвітлені власні ідеї і розробки автора, що дозволили вирішити поставлені завдання. Основні положення, висновки, результати дослідження і рекомендації, що містяться у дисертаційній роботі та виносяться на захист, отримано здобувачем особисто та за безпосередньою участю. Використані в дисертації ідеї, положення чи гіпотези інших авторів мають відповідні посилання і використані лише для підкріплення ідей здобувача.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи. Основні матеріали дисертаційної роботи відображено у 9 наукових публікаціях: 4 статті у вітчизняних фахових виданнях категорії Б, 5 матеріалів вітчизняних конференцій.

Основні результати дисертаційного дослідження обговорено на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях: «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем», (MPZIS-2021-2023) (м. Дніпро, 2021-2023 р.); Всеукраїнська науково-методична конференція «Проблеми математичного моделювання» (м. 27 Кам'янське, 2022 р.); Наукова конференція за підсумками науково-дослідної роботи Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара за 2022 рік (м. Дніпро, 2022 р.).

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, трьох розділів, загальних висновків, переліку використаних літературних джерел із 47 найменувань. Матеріали дисертаційної роботи викладені на 172 сторінках, містять 58 рисунків та 14 таблиць.

У *вступі* обґрунтована актуальність даної дисертаційної роботи, а також сформульована її мета та завдання. Визначені об'єкт, предмет та методологію дослідження, відзначена наукова новизна та практична значущість отриманих результатів. Представлений особистий внесок автора у виконаному дослідженні.

У *першому розділі* надано опис існуючих рішень, проведено аналіз літератури, розглянуто сучасний стан досліджень і перспективи подальшого розвитку. З урахуванням актуальних проблем, виявлених у проведеному дослідженні, визначено основні завдання роботи.

У другому розділі наведено послідовний опис методів сімейства YOLO та Faster R-CNN та проведено їх практичне порівняння. На основі отриманих результатів обґрунтовано використання алгоритму сімейства YOLO для подальших досліджень. Також в цьому розділі наведено детальний опис алгоритму YOLOv9, та висвітлено висунуті автором покращення.

Третій розділ присвячений процесу розроблення технології реалізації програмного засобу розпізнавання та відстеження об'єктів. В ньому розглянуто процес підготовки набору даних, вибору середовища та технологій розроблення програмного продукту, готових програмних модулів та результатів експерименту.

У висновках підведено підсумки дослідження, які відображають основні досягнення та результати наукової роботи.

Перелік використаних джерел містить повну інформацію про літературні та інформаційні ресурси, залучені до дослідження.

Мова та стиль викладення результатів. Дисертація написана українською мовою, що забезпечує її доступність для наукової спільноти та практиків в Україні. Мова є зрозумілою, професійною та відповідною науковим стандартам. Термінологія використовується коректно і відповідає сучасним науковим стандартам. Загалом, дисертаційна робота має добре організовану структуру, чіткий і професійний стиль викладення, що сприяє повному і правильному сприйняттю результатів дослідження.

Дискусійні питання і зауваження.

1. У першому розділі на сторінці 58 вказано, що новішою моделлю YOLO є YOLOv8, проте далі у дисертації розглядається модель YOLOv9.

2. Не дуже зрозумілим є вибір алгоритму Faster R-CNN в порівняльному аналізі, адже цей алгоритм відноситься до двоетапних методів детекції і завідома працює довше, що робить його не дуже придатним для розпізнавання у реальному часі. Можливо доцільніше було б порівнювати одноетапні методи.

3. При розгляді питання зменшення шуму на зображеннях поза увагою залишились методи глибинного навчання, наприклад, автоенкодері, що є досить актуальними на поточний момент.

4. Наскільки ефективною при практичному застосуванні є отримана якість розпізнавання?

5. На деяких сторінках роботи наявні друкарські помилки.

Зазначені зауваження не впливають на загальний рівень поданої на рецензію роботи, не ставлять під сумнів наукову новизну та практичну цінність результатів дослідження і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи та рівня кваліфікації здобувача.

Загальні висновки. Дисертаційна робота Сизоненко Олександри Дмитрівни на тему «Розроблення технології та програмних засобів виявлення та розпізнавання об'єктів у режимі реального часу» представлена на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення є актуальною за змістом завершеною науковою працею, містить наукову новизну та практичну цінність. Основні результати та висновки

роботи обґрунтовані і достовірні. 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 р. № 44 (зі змінами) «Про затвердження порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а її автор Сизоненко Олександра Дмитрівна заслуговує присудження наукового 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 техн. наук, доцент



Марина СИДОРОВА

Підпис канд. техн. наук, доцента Сидорової М.Г. засвідчую:

Проректор з наукової роботи
Дніпровського національного університету
імені Олеся Гончара
кандидат біологічних наук, доцент



Олег МАРЕНКОВ