

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора Гнатушенко Вікторії Володимирівни на дисертаційну роботу Сизоненко Олександри Дмитрівни на тему

«РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ВИЯВЛЕННЯ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ У РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 121
Інженерія програмного забезпечення

Актуальність теми дисертаційної роботи

Виявлення об'єктів є важливою темою досліджень у галузі інформаційних технологій, яку широко застосовують у військових і цивільних завданнях, як-от геологічні дослідження довкілля, моніторинг дорожнього руху, міське планування, землеробство та ліквідація наслідків стихійних лих. Традиційні методи отримання даних здебільшого покладаються на камери і пілотовані літаки. Останніми роками безпілотні літальні апарати (БпЛА) стають дедалі популярнішими, тому що мають такі переваги, як невеликий розмір, гнучкість і простота управління.

Історично виявлення об'єктів на зображеннях, отриманих з камер, є однією з найбільш ранніх задач комп'ютерного зору, починаючи з 1960-х років. Відтоді виявлення і розпізнавання категорій об'єктів розглядається як ключовий елемент будь-якої системи штучного інтелекту. Для цього завдання використовували багато методів комп'ютерного зору. В якості однієї з основ комп'ютерного зору традиційного виявлення об'єктів є статистичні методи. Однак величезний обсяг даних вплинув на продуктивність цих традиційних методів. З появою технології глибоких нейронних мереж (глибоке навчання) високорівневі ознаки зображень можна отримувати за допомогою декількох згорток і шарів об'єднання, що забезпечує виявлення об'єктів. З 2015 року глибокі нейронні мережі стали основною основою для виявлення об'єктів БпЛА. Однак існує багато нових проблем, пов'язаних із виявленням об'єктів БПЛА порівняно з виявленням наземних об'єктів, таких як проблема низької якості зображення і складна проблема фону.

Слід відзначити, що існуючі алгоритми машинного навчання та моделі глибинного навчання розпізнавання об'єктів на цифрових зображеннях не завжди враховують специфічні обмеженості на обчислювальні ресурси та специфіку організації отриманого відеопотоку даних БпЛА, що заважає досягнути потрібної точності класифікації об'єктів.

Цим обумовлюється актуальність дисертаційної роботи Сизоненко О.Д., яка присвячена вирішенню науково-технічної задачі розробці ефективної технології та програмних засобів розпізнавання об'єктів у відеопотоці у режимі реального часу з урахуванням специфічних умов спостережень з борту БпЛА та аналізу відповідних цифрових кадрів.

Зв'язок роботи з науковими програмами і планами

Дослідження, що були виконані здобувачем, пов'язані з реалізацією поточних та перспективних планів наукової та науково-технічної діяльності, що виконувалися в Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара та в рамках досліджень наукової школи «Інформаційні технології обробки статистичних даних» на кафедрі математичного забезпечення ЕОМ.

Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій. Аналіз сучасних досліджень за темою дисертації дозволив здобувачеві визначити переваги та недоліки існуючих методів **розпізнавання** об'єктів та технології глибоких нейронних мереж, з урахуванням особливостей умов спостереження, що впливають на формування вхідного потоку даних, з подальшим обґрунтуванням мети та завдань дисертаційної роботи. Припущення, прийняті в теоретичних дослідженнях роботи, є коректними, а отримані результати не суперечать відомим уявленням теорії комп'ютерного зору. Перевірка теоретичних результатів з використанням сучасних програмних засобів підтвердила високій ступінь їх адекватності для досліджуваного класу задач.

Достовірність та обґрунтованість запропонованих методів і засобів підтверджується результатами експериментальних досліджень та коректним застосуванням методів, які були використані під час виконання роботи.

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертації, логічно випливають із результатів, отриманих за допомогою чітких викладок. Тому можна стверджувати, що висновки та практичні рішення, отримані у роботі, коректні, достатньо обґрунтовані й можуть бути рекомендовані до використання при виявленні та розпізнаванні об'єктів у режимі реального часу

Наукова новизна результатів дисертаційної роботи.

Виконана робота своїми результатами вносить вклад в розвиток відповідних розділів теорії комп'ютерного зору. Отримані результати є розв'язком задачі підвищення точності розпізнавання та **ВИЯВЛЕННЯ** об'єктів у режимі реального часу шляхом удосконалення відповідних моделей нейронних мереж, технологій глибинного навчання та розроблення методів і засобів покращення програмних рішень при використанні на борту БпЛА .

Автором *вперше* розроблено архітектурне рішення побудови нейронної згорткової мережі задачі виявлення, розпізнавання та відстеження об'єктів в режимі реального часу, з використанням в розробленій технології PFNB-блоку, який базується на архітектурному рішенні Faster-Net, та церішення є оптимізоване для задач конкретної предметної області. Сформовано власний набір даних для апробації розробленої технології що підтверджує ефективність розробленої моделі.

У роботі *вперше* запропоновано архітектуру кросплатформної бібліотеки, яка є п'ятимасштабною структурою і містить механізм уваги ViFormer з малою обчислювальною потужністю, що дозволяє покращити точність виявлення малих об'єктів та покращує увагу до ключової інформації на карті об'єктів.

Також *вперше* проведено моделювання порівняльних експериментів на:

- YOLO v9 на невеликому наборі даних, яке показало використання функції регресійних втрат WIoU v3 найефективнішою для побудованої моделі.

- невеликій кількості зображень при додаванні до базової моделі блоків детектування групи PFNB, які об'єднують дрібні особливості шарів нейронної згорткової мережі, що збільшує на невеликому наборі даних усереднене

значення mAP та при їх одночасному використанні розмір моделі і кількість параметрів зменшується;

–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 усередненого значення середньостатистичної і середньої точності.

Короткий аналіз основного змісту дисертації

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено мету та основні завдання, предмет та об'єкт, відображено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі проведено аналіз з існуючих підходів методів виявлення, розпізнавання та відстеження об'єктів та моделей глибокого навчання. На основі проведеного аналізу літературних джерел визначено основні задачі і проблеми, які виникають у реалізації інтелектуальних систем у режимі реального часу, включаючи оброблення великого обсягу даних, та оптимізацію швидкості роботи програмних засобів. визначено подальші напрямки підвищення точності ідентифікації об'єктів.

У другому розділі розроблені і протестовані методи глибокого навчання для виявлення, розпізнавання та відстеження об'єктів на цифрових зображеннях. Увага дослідження акцентується на обґрунтуванні вибору алгоритмів сімейств YOLO та Faster R-CNN, етапі препроцесінга для подальшого використання даних у моделі. Розроблено архітектуру моделі YOLO v9 P (на базі моделі YOLOv9), яка заснована на модульному підході, демонструє адаптивність до змінних умов поведінки об'єктів в режимі реального часу, що забезпечує стабільну роботу програмного засобу.

Запропонованими асновними змінами архітектури моделі YOLO v9 P є додаткові блоки, які відповідають за вирішення задачі виявлення об'єктів малого розміру; додаткові блоки спрямування на подальшу оптимізацію процесу виділення ознак; додаткові блоки для зменшення обчислювальної складності та покращення уваги моделі до ключової інформації у вхідних ознаках.

У третьому розділі було спроектовано, розроблено та протестовано технологію розпізнавання та відстеження об'єктів в режимі реального часу з використанням глибокого навчання, проведено аналіз отриманих результатів роботи розробленої технології при порівнянні з існуючими програмними рішеннями та проведено формування власного набору даних.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи.

Практичне значення одержаних результатів полягає, насамперед, в розробленні методів і відповідного програмного забезпечення, які дозволяють автоматизувати процеси класифікації при аналізі об'єктів в режимі реального часу і тим самим забезпечують підвищення достовірності оцінки та прогнозування показників точності таких систем. Результати роботи впроваджені у освітньому процесі кафедри Математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара в лекційних курсах та практикумах дисциплін «Алгоритми аналізу та методи опрацювання зображень» «Системи штучного інтелекту», «Глибинне навчання» та виконанні кваліфікаційних робіт здобувачів. Результати дисертації пройшли дослідницьке випробування на підприємстві ТОВ «КАНЬОН ІНЖИНІРІНГ» проєкт «FridgeEye», що дозволяє проводити розпізнавання об'єктів у реальному часі з обмеженнями за ресурсами. Крім того, запропоновані методи мають перспективи їх практичного використання для розроблення програмного забезпечення для повністю та напів автономних БПЛА.

Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладу наукових положень та результатів в опублікованих працях

За своїм змістом дисертаційна робота здобувачки Сизоненко О. Д. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Інженерія програмного забезпечення».

Повний обсяг роботи становить 172 сторінок друкованого тексту, з них основний текст – на 161 сторінках. Список використаних джерел містить 47

найменувань. Оформлення дисертації відповідає усім необхідним вимогам. Дисертація написана логічно, доступно, на високому технічному рівні з використанням сучасної термінології. Основні висновки і рекомендації логічно витікають із результатів, які наведено у розділах роботи. Отримані результати свідчать про високу індивідуальність роботи. По всьому тексту дисертації простежується авторський стиль. У дисертації не виявлено текстових запозичень і використання наукових результатів інших науковців без посилань на відповідні джерела.

Основні результати дослідження опубліковано у 9 наукових працях, з яких: 4 статті у наукових фахових виданнях України, а також 5 праць апробаційного характеру – у матеріалах і тезах конференцій. Основні положення дисертації повністю викладено в опублікованих працях. Вимоги щодо кількості та якості публікацій виконано.

Недоліки та зауваження по дисертаційній роботі.

1. Здобувачка регламентує тему роботи «Розроблення ... програмних засобів виявлення та розпізнавання об'єктів у режимі реального часу», натомість у Розділі 3 не наведено ні розробленого програмно забезпечення, ні посилання на нього у вільному доступі або впровадження. Посилання на власні праці (розробки) автора дало б змогу легко пересвідчитися у виконанні вимоги щодо реалізації результатів дисертації.
2. На мою думку, некоректно сформульована наукова новизна результатів дисертаційного дослідження, оскільки «вперше розроблено архітектурне рішення ..., що відрізняється від існуючого рішення тим, що використовує більшу кількість блоків розпізнавання об'єктів різного розміру...», «вперше проведено моделювання порівняльних експериментів на YOLO v9 ...» є подальшим розвітком технології розпізнавання та відстеження об'єктів.
3. У підрозділі 3.3 дисертантка виконує визначення та аналіз вимог до технології та середовища для розроблення програмного забезпечення, проте вона оминає своєю увагою важливі нефункціональні вимоги (стор.

148-149) для будь-якого програмного забезпечення, як якість, надійність, безпека, зручність використання (usability), тощо.

4. Поза увагою залишені питання залежності розбіжність результатів розпізнавання та відстеження об'єктів в режимі реального часу розроблених автором технологій (наприклад, при використанні WIoU v3 в YOLO v9 на 0,7% (стор.150), YOLO v9 P - покращення від 2,5% до 14,1% (стор. 151)).
5. У роботі розглядаються відомі архітектури нейронних мереж (R-CNN, Fast R-CNN, YOLO v3, YOLO v5, YOLO v8, YOLO v9) (п.1.2, 2.1,2.2), функції втрат та механізм уваги, при цьому Список використаних джерел містить переважно посилання. Доцільніше було б замінити посилання на первинні, які містять дійсно основні дослідження та мають належні посилання на відповідне джерело. В тексті дисертації зустрічаються друкарські помилки та стилістичні вади.
6. У роботі зустрічаються поняття «мережева модель YOLO», «згортована нейронна мережа YOLO», «технологія YOLO», які потребують уніфікації до єдиної термінології. В тексті дисертації зустрічаються друкарські помилки, не коректний переклад англomовних визначень («average precision -середня похибка») та стилістичні вади.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не применшують загальної наукової новизни і практичної значущості результатів дисертаційного дослідження та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи

Загальна оцінка дисертаційної роботи.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Сизоненко Олександри Дмитрівни на тему **«Розроблення технології та програмних засобів виявлення та розпізнавання об'єктів у режимі реального часу»** виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має суттєве значення для галузі знань «Інформаційні технології». Дисертаційна робота за актуальністю,

практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022, р. № 44, а Сизоненко Олександра Дмитрівна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань «Інформаційні технології» за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

Офіційний опонент,
завідувачка кафедри
інформаційних технологій і систем
Українського державного університету
науки і технологій,
докторка технічних наук,
професорка,



Вікторія ГНАТУШЕНКО

Підпис професора Гнатушенко Вік.В. підтверджую.

Проректор з наукової роботи
Українського державного університету
науки і технологій,
доктор технічних наук, професор



Юрій ПРОЙДАК

